



TITLE:

総合評価指標を用いた次世代へ向  
けての上下水道システムの再構築  
に関する研究( Dissertation\_全文 )

AUTHOR(S):

木村, 昌弘

---

CITATION:

木村, 昌弘. 総合評価指標を用いた次世代へ向けての上下水道システムの再構築に関する研究. 京都大学, 2008, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2008-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k14143>

RIGHT:

# 総合評価指標を用いた次世代へ向けての 上下水道システムの再構築に関する研究

2008年

木村昌弘

# 目 次

## 第1章 序 論

1-1 はじめに	1
1-2 研究の背景	2
1-2-1 地球環境問題の深刻化	2
1-2-2 健全な水循環の形成	3
1-2-3 わが国における上下水道の課題	5
1-3 上下水道システムの総合評価に関する既往の研究	8
1-4 本論文の目的と構成	9
1-4-1 本論文の目的	9
1-4-2 本論文の構成	9
参考文献	10

## 第2章 総合評価手法に関する考察

2-1 持続可能性について	12
2-2 評価手法と指標設定の考え方	17
2-3 環境の貨幣評価手法	21
2-4 指標の選定と総合評価手法	26
2-5 貨幣評価手法	32
2-6 指標の独立性と重複性	34
2-7 結語	35
参考文献	36

## 第3章 評価指標の設定

3-1 河川流域指標	38
3-1-1 河川指標	38
(1) 平常時流量指標	38
(2) 河川水質指標	40
(3) 洪水指標	46
(4) 水辺への接近度、河川自然度指標	49
3-1-2 流域指標	50
(1) 自然緑地指標	50
(2) 湖沼等水面指標	50
3-2 水道指標	51
3-2-1 安定性指標	51
(1) 渇水断水被害指標	51

(2) 平常時事故断水被害指標	59
(3) 地震断水被害指標	61
3-2-2 安全性指標	62
(1) 水道水質安全性指標	62
(2) 水道水非飲用費用指標	65
(3) 水源水質事故被害指標	68
3-3 地球環境とライフサイクルコスト指標	69
3-3-1 上下水道施設の地球環境とライフサイクルコスト評価手法	70
3-3-2 上下水道の環境影響経済評価とライフサイクルコスト	71
3-4 結語	71
参考文献	72

第4章 モデル流域と上下水道再構築パターンの設定	74
4-1 検討対象流域の設定	75
4-2 モデル流域の設定	79
4-3 検討ケースの設定	80
4-4 結語	84
参考文献	84

第5章 モデル流域でのケース別総合評価	85
5-1 河川・流域指標	85
5-2 水道指標	94
5-3 地球環境とライフサイクルコスト指標	116
5-4 総合評価	127
5-5 結語	129
参考文献	129

第6章 モデル流域の将来シナリオと総合評価	130
6-1 モデル流域の将来シナリオ	130
6-2 自然・社会環境条件の設定	130
6-3 将来シナリオでの総合評価	135
6-4 結語	155
参考文献	155

第7章 次世代へ向けての望ましい上下水道システムの検討	156
7-1 目指すべき上下水道システムの評価基準	156
7-1-1 わが国の環境・社会の将来像	156

7-1-2	目指すべき流域及び上下水道システムの将来像	157
7-1-3	次世代へ向けた望ましい上下水道システム構築のための条件設定	158
<b>7-2</b>	<b>次世代へ向けた上下水道構築への新たな方策</b>	<b>159</b>
7-2-1	新たな方策メニュー	159
7-2-2	流域対策の評価	160
7-2-3	膜処理施設導入の評価	177
7-2-4	配水管路の高機能化(耐震化及び耐用年数延長)の評価	184
7-2-5	2元給水導入の評価	190
7-2-6	都市のコンパクト化の評価	205
7-2-7	土地利用誘導対策の評価	216
7-2-8	新たに導入した方策の効果の総括	220
<b>7-3</b>	<b>次世代へ向けての上下水道システムの再構築に関する総合的考察</b>	<b>228</b>
7-3-1	次世代へ向けての上下水道システムの再構築のための新たな方策の総合評価	228
7-3-2	新たな制約条件からの検討	229
7-3-3	次世代へ向けた上下水道システム再構築のための施策	235
7-3-4	次世代へ向けての上下水道システム再構築への道筋	236
<b>7-4</b>	<b>結語</b>	<b>238</b>
	参考文献	239
<b>第8章</b>	<b>結論</b>	<b>241</b>
8-1	本研究のまとめ	241
8-2	今後の課題	244

謝 辞

あとがき

# 第1章 序 論

## 1-1 はじめに

20世紀型の経済発展がもたらした地球環境問題は、地球温暖化や水・エネルギー資源の枯渇として今や我々人類の将来の前に大きく立ちはだかろうとしている。これまで我々の社会生活や産業活動の基盤となってきた上下水道システムは、こうした水資源やエネルギーに支えられてきたものであり、これらの危機が叫ばれる中で、上下道システムを持続可能なものとして次世代に引き継いでいくためには、長期的な環境戦略の基で、これらのシステムを再構築していく必要がある。

2007年に公表された気候変動に関する政府間パネル(以下「IPCC」という。)第4次評価報告書では、人間活動による温室効果ガス排出量の増大によりここ10年で地球の平均気温の上昇速度は更に加速しており、21世紀中には最大で6.4℃上昇し甚大な被害の発生が予想されるとして、緊急かつ具体的な行動を求めている。わが国の電力消費量の1.5%を日々の運用で消費する上下水道事業においてもより効果的な対策の実施が求められている。また水道水源に関しても、この地球温暖化による水資源の地域的偏在や時間的変動の増大が指摘されており、水質面でも湖沼等の水質悪化が懸念されている。

一方では、わが国は人口減少期に入り、水需要量の低迷による上下水道事業の経営・運営の更なる悪化が予想される中で、高度成長期に整備された大量の上下水道施設が老朽化して来ている。こうした事態に対処し、我々の社会経済活動に不可欠な上下水道を持続可能なシステムとして将来にわたって健全に維持していくためには、少子高齢化などの社会現象や地球温暖化などの自然環境条件の変化を踏まえ、施設の効率的な更新や安定性、安全性向上をあわせた総合的な視点で今後の上下水道システムのあり方を評価し再構築していく必要がある。近時、情報通信や電力など多くの分野で今後の持続可能なシステムの方向性として自律分散型システムへの移行が注目されているが、そのようなシステムを上下水道システムに導入していくためにも、それを評価する手法を確立することが必要である。

本研究は、以上の観点から「流域水資産健全度指数」という新たな指標を用いて地球環境への影響や流域の水循環の健全性、水道の安定性・安全性などをすべて貨幣価値に換算し統合的に評価する総合評価手法を構築した。また、状況が大きく異なる大阪府南部の2つの河川流域を検討のモデルとして選定し、この手法を用いて現況と2050年の流域状況を想定したシナリオで、自律分散型システムを含む設定の異なる複数の上下水道システムについて評価を試みた。さらに、より望ましい上下水道システムとするための新たな諸施策について評価を行うとともに、環境容量の視点から地球全体や流域の持続可能性に符合するかについての検討も加え、次世代へ向けての新たな上下水道システムのあり方を提案したものである。

## 1 - 2 研究の背景

### 1-2-1 地球環境問題の深刻化

21世紀には入って早や8年、1972年にローマクラブが成長の限界として、人口増加や環境悪化などの現在の傾向が続けば100年以内に地球上の成長は限界に達すると警鐘を鳴らし、地球の破局を避けるために、成長から世界的な均衡へと移っていくことの必要性を提示してから40年近くが経とうとしている。しかし世界の人口は1975年から2000年の25年間に1.5倍増加、水資源の消費は1.4倍に、エネルギー(石油)消費は1.3倍に達した<sup>1)2)</sup>。今後の25年間にさらに人口は約1.3倍(約80億人)となり、それに伴う生産活動の発展、生活様式の変化等により水の需要量は約1.4倍にもなると予測されている。また、2030年の世界の一次エネルギー需要は、1.7倍になると見込まれ<sup>3)</sup>、エネルギー資源の残余年数は、石油が40年、天然ガスが61年と試算<sup>4)5)</sup>されるなど人類の未来に大きな影を落とすつつある。今日の経済発展を支える社会経済システムは、自然からの恵みを利用し、不用物を自然環境へ廃棄することにより成立しており、このような大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会経済システムにおける経済活動の拡大が人類の生存基盤である自然環境のバランスを崩しさまざまな地球規模の環境問題として現れてきていると言える。

昨年、IPCC第4次報告書<sup>6)</sup>が発表され、地球温暖化の事実は疑う余地がなく、その原因は人為起源の温室効果ガス濃度の増加であると断定された。現在の世界の排出量は自然界の吸収量の2倍を超えており、このままで行くと今世紀末における地球全体の平均気温の上昇は化石エネルギー源を重視する社会では約4.0 (2.4~6.4)に達すると予測されている<sup>7)</sup>。現在既に地球温暖化によって水資源や自然生態系などでは悪影響が顕在化しており、今後さらに災害の激化、生態系への悪影響に加え、数億人規模の水不足、農業への被害、感染症の増加など経済・社会活動に対して複合的に様々な悪影響が生じる可能性が指摘されている。地球温暖化問題は、その予想される影響の大きさや深刻さから見て人類の生存基盤に関わる最も重要な環境問題である<sup>7)</sup>。

地球上に生命が誕生したのは36億年前、人類が誕生して約7百万年になるが、2百年前の産業革命以前の人類は、太陽エネルギーによる地球の自然サイクルの枠内で何とか生活を維持してきた。この産業革命以後の化石燃料の活用は大きなそして急速な経済発展を可能にしてきたが、一方これらの発展は人間の生活基盤である環境に大きな負荷を与えてきた。その根本をエントロピー法則の視点で捉えれば、人間社会がより低いエントロピー状況を確保するため、太陽エネルギーにより何億年にもわたって形成された環境の有する低いエントロピー資源を大量に利用した結果であり、その代償としてそれまでエントロピー収支で調和が保たれてきた水や炭素の循環という自然のサイクルに影響を与えてきたともいえる<sup>8)</sup>。このような環境影響は生物の多様性にも影響を及ぼし、国連環境計画(UNEP)が2007年にまとめた地球環境白書によると、地球上の野生生物の総個体数は、この20年間で40%も減少し、絶滅種数は、自然状態で見込まれる数の100倍に達しているとしている<sup>9)</sup>。これまで地球の生命体がほとんど消えてしまう大量絶滅が過去5億年間に5回起こり、これらの3番目の2億5100万年前ペルム期末に起こった史上最大の大絶滅では海生生物の90%と陸生生物の70%が全滅したとされている。絶滅の原因には、隕石衝突や火山噴火などによる環境の変化など様々な議論がなされてきたが、最近の「バイオマーカー」などの調査により、6500万年前のK/T絶滅を除くと世界の海が非常な低酸素状

況に逆戻りしたことが判明している<sup>10)</sup>。過去の大量絶滅期には大気中のCO<sub>2</sub>濃度が高かったことも明らかになっている。こうした最新の研究成果では、ペルム期と三畳紀末の大量絶滅に関しては、大規模な火山活動等によって、大量のCO<sub>2</sub>とメタンが放出され急激な温暖化を引き起こしたとされている。海水温が上がり大気から海に溶け込む酸素が減り、嫌気性の硫酸塩還元細菌等の活動によりH<sub>2</sub>S濃度の上昇で海生生物が窒息死する。さらにH<sub>2</sub>Sの大気への拡散により陸上生物の生命を奪うほかオゾン層を破壊し、紫外線によって残りの生物も死に絶えるというメカニズムが示されている。最も現代に近い大絶滅期である、暁新世(5400万年前)における大気中のCO<sub>2</sub>濃度は、1000ppm程度とされている。世界のCO<sub>2</sub>排出量は1971年から2003年にかけて1.8倍増加しており、人口一人当たりでは、3.85トンから4.03トンと5%増加している<sup>11)</sup>。ICPP第4次報告書では、現在大気中CO<sub>2</sub>濃度は、385ppmであるが、今後CO<sub>2</sub>濃度の増加ペースはさらに加速し最悪のシナリオでは、今世紀末に900ppm近くに達するとされている<sup>5)</sup>。これまで人類文明は安定した気候の下で発展してきたが、ここ10年はこの最悪のシナリオで進んでおり6番目の大絶滅に近づいているとの指摘もある。

わが国では、ここ30年でCO<sub>2</sub>排出量は1.6倍に、一人当たりでは7.08トンから9.64トンと36%増加し世界平均を大きく上回って増加している<sup>12)</sup>。この間EU15カ国では一人当たり9.02トンから8.89トンと減少させているのと対照的である。京都議定書ではわが国のCO<sub>2</sub>排出量を1990年レベルの6%減が目標として掲げられているが、2007年では逆に8%増加しており、その達成が非常に困難といわざるを得ない。わが国の部門別の排出内訳では、産業が35.2%と最も大きく、運輸19.9%、業務18.4%、家庭13.5%と続いている。2005年度排出量は基準年度比では、産業が-5.5%に対して業務が+44.6%、家庭が+36.7%と大きな伸びを示している<sup>4)</sup>。このうち上下水道はCO<sub>2</sub>排出量全体の1%程度を占めている<sup>13)14)</sup>。

IPCC 第4次報告書では、「多くの影響は、排出削減により回避、遅延、低減することができ、今後20～30年間の削減努力と投資が必要である。削減対策の遅れは、より低い安定化濃度の達成に大きな影響を与え、より厳しい気候変化の影響のリスクを増大させる。」としており、2050年までに世界全体で50～85%の削減が必要とされている。このような資源・エネルギー問題、地球環境問題の深刻化は、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型社会の限界を明確にしており、省エネルギー、省資源による環境負荷の少ない社会の構築が重要な課題となっている。上下水道分野においても、単に現在の技術の延長だけでなく、システムそのもの見直しと再構築が必要とされる。また、地球温暖化対策は今行動を起こさなければ間に合わないと言われており、長期的な視点に立った根本的な対策の早急な着手が求められている。

### 1-2-2 健全な水循環の形成

今日上下水道システムは、地球上の生命の維持機構でもある水循環系の一構成要素を形成しており、水の循環系が健全に機能していることが、より安定した良好な水道水源を得るための必要要件でもある。健全な水循環とは「流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下に、共に確保されている状態」とされている<sup>15)</sup>。国連等の調査によれば、全世界の年間水使用量は、この50年間に約3倍増加し、3.6兆m<sup>3</sup>に達しており、2025年には約5億兆m<sup>3</sup>に増加すると推定されている<sup>16)</sup>。また、現在世界で20億人が何らかの水不足



の影響を受けており、安全な水を確保できない人口も11億人とされ、今後の人口増加等によりこれらの被害人口は倍増すると言われている。更に畜産物消費の増加など食生活の高度化に伴い、2050年の世界の穀物需要は2000年の1.6倍に増大すると予測されており、かんがいに必要な農業用水使用量の大きな伸びも予想される<sup>2)</sup>。現在既に、農業用水としての地下水の過剰な揚水により、地下水の枯渇が進み、食料生産が困難になりつつある地域も多く見られる。具体的な事例として、アラル海へ流入する河川の大規模な灌漑開発の結果、河川流量が激減(87%減)しアラル海の面積はこの50年間で半分に減少している。また、アメリカ中西部の穀倉地帯の水源となっているオガラ帯水層は過剰なくみ上げにより当初より水位は3.6m低下しており、中国北西部や中央アジア、パキスタン以西の中近東、アフリカ、アメリカ南西部、南米の一部など乾燥地帯では農地の塩類集積被害が生じている<sup>12)</sup>。さらにIPCC 第4次報告は今世紀半ばまでに年間平均河川流量と水の利用可能量は、中緯度のいくつかの地域等において10~30%減少するとしており、今後の気候変動による降水特性の変化等により、水不足の深刻化や都市における浸水リスクの増大が懸念される。

わが国においては、20世紀の後半からの経済発展に伴う都市への急激な人口・産業の集中と都市域の拡大により都市水害や水不足の頻発、河川水質の極度の悪化などを招き、水問題が深刻化してきた。これに対して大規模な水源開発や治水対策、上下水道の整備などが集中的に実施され、一応の改善が図られてきた。しかし一方でこれらは水と住民を隔離し、生物の多様性や流域の水循環に悪影響を与えるとともに、それらのシステムを維持管理するエネルギーやコストの大幅な増加を招いてきた。今後これらの施設は老朽化し、順次更新期を迎えることから、更に大きなコストが必要となってくる。水質に関しては、下水道の整備や工場排水の規制強化などにより河川のBODは、全国平均で1975年3.0mg/Lから2004年で1.5mg/Lと半減しているが、湖沼のCODは年3.9mg/Lが3.3mg/Lとほとんど減少が見られず、海域では1.7mg/Lから1.9mg/Lとむしろ悪化している。近年、近畿圏の水道水源となっている琵琶湖の北湖では、栄養塩類が増加して富栄養化するとともに、植物プランクトンの種構成が変化する等生態系が変化している。今後の温暖化による水温の上昇により表層と深層が混合しない全循環停止が生じ、深層に酸素が供給されないことにより水質・生態系に大きな影響が生じる可能性がある<sup>17)</sup>と指摘されている。また、水資源の量に関しては水源開発の進展や工業用水のリサイクル利用の増大、各家庭の節水機器の普及等により、平常時においては一応給水の安定性は確保されつつあるものの、地球温暖化による気候変動等により水需給バランスを崩すことも懸念されている。さらに、食料自給率がカロリーベースで39%と食糧を海外に大きく依存しているわが国の現実から、世界人口の増加や地球温暖化等による世界的な水危機の発生は、わが国の国民生活や社会・経済活動に甚大な影響を及ぼすことが危惧されている。

地球上における水の大循環は、生命の維持や活動の根源となるものであり、また、人類文明や地域の風土文化を育んできたものである。大気から大地、河川等を経て海域に向かう水の循環は、河川や地下水の水量の確保、水質の浄化、水辺環境や生態系の保全に大きな役割を果たしている。わが国における水循環系は、昔より人の手により工夫が施され、長い期間をかけて人工と自然の水循環系とが調和し有機的に結びついたものになってきた。しかし今日、都市化は、水循環系を急激に変化させ、種々の問題を引き起こしていることも事実である。

このようなことから21世紀の持続可能な発展のためには、健全な水循環系の再構築が重要な課題で

あり、安全で快適な生活及び健全な生産活動が実現するとともに環境の保全に果たす水の機能が確保されるなど、人間の諸活動と水循環系との調和を図っていくことが重要である。上下水道システムは、この水循環の一部を形成しており、われわれの日々の活動が水循環に影響を及ぼすことは避けられず、また、水循環の影響を直接受けることになる。持続可能な社会を支える次世代へ向けての上下水道システムの構築は、水循環全体の健全性を確保しないことには達成できない。こうした点から、今後迎える上下水道施設の大量更新期を機会として水循環系と調和したシステムへの再構築がぜひとも必要である。

### 1-2-3 わが国における上下水道の課題

#### (1) 上水道の課題

わが国の水道は、横浜市に近代水道が敷設されて以来、120年近くが経過し、今日ではその普及率は100%近くにまで達している。この間、都市の拡大に対応した水資源開発や浄水場の建設、管路の敷設など、また河川水質の悪化対策としての高度処理施設の導入などが進められ、誰もが蛇口から直接飲める水道として世界に誇りうる水道システムが構築されてきた。しかし、1995年1月に発生した阪神・淡路大震災では、地震直後に約130万戸が断水し神戸市、西宮市、芦屋市では4万戸を超える世帯で3ヶ月間に及ぶ断水状態が続いた<sup>16)</sup>。また、2006年8月に広島県内で発生した県営水道送水トンネルの岩盤崩落事故では、3週間の断水が生じ、呉市で最大2万世帯、江田島市では最大1万2千世帯に影響を与えるなど大規模災害時における生活用水等の確保が大きな課題となっている<sup>17)</sup>。水道は住民の生命・健康及び経済活動の基盤であるが、今後の急速な少子・高齢化の進展や水使用機器の普及など社会構造の高度化、老朽化する水道施設の増加といった種々の要因により、さらに震災・事故発生時の被害リスクが高まる恐れがある。一方、「水に関する世論調査」(平成13年度内閣府)によれば、水に関わる豊かな暮らしとして「安心して水が飲める暮らし」を挙げた人が最も多く、また、ミネラルウォーターの消費量の増大や家庭用浄水器の普及など、「安全でおいしい水」を求める社会的関心が高まっている。水道水源の水質に関しても、トリハロメタン以外の消毒副生成物、塩素耐性を有する病原微生物の問題、ダイオキシン類や内分泌かく乱化学物質、医薬品など新たな化学物質による問題が提起されてきている。一方ではこれまでの水源確保のための長距離導水や水質対策としての高度処理の導入等は、エネルギー消費量を増大させ、2005年度現在、上水道施設の電力消費量は約80億kWhと全国の電力消費量の約1%となっている<sup>13)</sup>。

更に、今後の人口減少に伴う給水量の減少により水道経営の悪化が予想される中で、施設の老朽化に伴いこれらの維持管理更新費用が大きく増大し、次世代に大きな負担となつてのしかかることになる。これに対して、現在の水道システムは飲料水レベルまで浄化した水道水を、飲料以外の洗浄用水として多量に供給している点に問題があるとの指摘もなされており、また、給水の効率化や安定性確保のために大規模化や自然の水循環から乖離した長大な人工管路網の形成につながったことも否定できない。

こうした状況の中で、先に厚生労働省から公表された水道ビジョンでは質・量ともに世界レベルであるわが国の水道を将来世代に引き継いでいくため「世界のトップランナーを目指し、チャレンジし続ける水道」という目標が掲げられ「安心」「安定」「持続」「環境」「国際」が主要政策課題とされた<sup>18)</sup>。この目標を

達成するための施策として掲げられたのが、運営基盤の強化のための集中と分散を最適に組み合わせた水供給システムの構築や安心・快適な給水の確保のための水源から給水まで一貫した水質管理徹底のための総合的なアプローチ、災害対策の充実、環境エネルギー対策の強化などであり、これらを実現するためには、地球環境を踏まえた水循環システムの中で水道システムのあり方を根本的に見直して行く必要がある。

## (2) 下水道の課題

下水道に関しても、その普及率は2006年度末現在、全国で約70.5%に達し<sup>19)</sup>、公衆衛生の向上や河川水質の改善、浸水防止に効果を上げてきた。しかし水質に関しては、河川では改善が見られるものの、三大湾や湖沼等の閉鎖性水域では、依然として改善が進まず、富栄養化に伴う赤潮、青潮等の発生により、生態系への深刻な影響や水道水の異臭味被害も生じている。浸水防止に関しても、流域の都市化により浸水に対する安全度は実質的に低下する傾向にあり、毎年のように浸水被害が発生している。また、これまでの下水道の整備は、水路への生活雑排水の垂れ流しを急速に減少させ衛生環境の向上に寄与する一方で、せせらぎや水路等の暗渠化によりまちの潤い喪失や水辺の生態系への悪影響など都市の快適性を低下させる原因となってきた<sup>20)</sup>。更に、産業・経済活動や日常生活で利用された多種多様な化学物質、し尿に含まれる病原性微生物が下水道を通じて公共用水域に排出され、生態系や人の健康への深刻な影響が懸念されるようになってきている。また、生活排水の処理においても、糞尿等のブラックウォーターと風呂や洗面排水等のグレーウォーターが工場排水とともに処理される点も問題として指摘されている。一方では閉鎖性水域への水質対策としての下水道における高度処理の導入は、エネルギー使用量の増大や維持管理コストの増大を招いてきており、2005年度末現在、下水道施設の電力消費量は年間約69億 kWh と全国の電力消費量の約0.7%を占めている<sup>19)</sup>。

「新しい時代における下水道のあり方について」<sup>21)</sup>では安全、環境、暮らし活力、事業の継続性推進、水系リスクの低減、公共水域の水質改善、資源エネルギー循環の形成、健全な水循環の構築が示されている。地球温暖化により水資源不足の深刻化が懸念されている状況を踏まえると、持続可能な社会を形成するためにも、再生水の活用、雨水の利用や地下水涵養などによる健全な水循環系の構築が今後さらに重要になってくるものと考えられる。

## (3) 上下水道システムの再構築へ向けての今後の課題

以上のようにこれまでに都市域を中心に巨大なシステムとして構築されてきたわが国の上下水道は、今日では健康的で文化的な生活を支える都市基盤として不可欠なものとなっているが、経済成長期に計画整備されたこれらのシステムは、20世紀の拡大再生産を経済の基本とする大量生産、大量消費大量廃棄の枠組みの中に組み込まれてきたことも否定できない。今後の社会経済の右下がりの時代においてこのような巨大な中央集中型システムは柔軟性に欠け、今後の人口減少化社会等に対応しきれない心配もある。近時、このようなシステムへの対応として、自律分散型システムへの移行の必要性が各方面で議論されている<sup>22)</sup>。「自律分散システムとは、システム全体を統合する管理機構をもたず、システムを構成する各要素（個・サブシ

システム)が自律的に行動しながら、協調・競合的に相互作用しあい、全体として任務を達成する(秩序を形成または維持する)システムのことである。」<sup>23)</sup>。生物は、成長、新陳代謝、免疫機構という3つの特徴を持っており、これは生体が、同じ細胞からなり、それらの細胞間には親子の関係はなく、かつ、それらは、局所的な情報を用いて生きていることによるとされている。これが集中型システムの種々の課題解決に結びつくとして注目を浴びており、このような分子生物学における様々な特徴を模倣した、新たなシステムが自律分散システムである。情報通信分野のシステムでは、大型コンピューターの登場と共に始まった情報通信革命が、パソコンやマイクロコンピューターの段階を経て、現在、ネットワーク・コンピューターやコンピューティング・ネットワークと呼ばれる自律分散型のコンピューティングの段階に入っている。また、鉄道の列車運行や交通の管理システム、電力・エネルギーの供給、さらに工場の生産システムやリスク・マネジメントから企業のマネジメントシステムに至るまで、中央集中型から自律分散型への転換が図られつつある。地球環境対策としての視点からは電力供給における従来の一極集中型発電システムに対し、クリーンなエネルギー源として太陽電池などの分散型発電システムに注目が集まり、その実用化が強く求められている。

水管理システムにおいても、将来のあるべき姿は「自律分散持続型」の水システムにあるとして、その戦略的構築と支援技術開発に関する研究が進められており<sup>24)</sup>、サニテーションシステムにおいても分散型の導入が研究の大きなテーマとなっている<sup>25)</sup>。このサニテーションシステムに関しては、「この中央集中システム(CUS: centralised urban sanitation)では、例えば糞便のような比較的濃度の高い家庭廃棄物の輸送に清浄な水(主に水道水)を使用している。また、肥料(窒素、リン、カリウム)のような有益な副産物が回収されることはほとんどないなど持続可能なサニテーションと矛盾する点が多く存在する。このようなCUSシステムの欠点の多くは、分散型サニテーション(DUS: decentralised urban sanitation)のコンセプトを適用することで克服することができる。」との指摘もある。しかし一方では、現在の分散型都市サニテーションシステム(DUS)方式は、都市環境、運用管理(基準の遵守)に対する適応性に欠けているとの指摘もある<sup>25)</sup>。一般に分散型の水システムは維持管理が困難でかつエネルギー消費や費用が大きくなると考えられており、導入に当たっても多くの課題を解決する必要がある。

今日、社会はパーソナル性を尊重し、自己責任能力が高く、生活品質の良い社会を目指しており、他律から自律へ、集中から分散へ、集団から個人へと変化する自律分散社会への方向性を示している。こうしたことから、自律分散型システムの導入は、次世代へ向けた新たなシステム構築に当たっての重要な検討課題であり、上下水道においても、このような社会経済の潮流にあわせて従来の効率優先のスケールメリット追求型から自然環境システムと調和できる自律分散型システムへの転換に向けた評価検討を行っていく必要があると考える。

#### (4) 次世代へ向けた上下水道システム評価の課題

以上のような地球環境や水循環、上下水道システムに関する諸課題を前提に、次世代へ向けた新たな上下水道システムについて評価するにあたっては、地球環境の保全や健全な水循環の形成、上下水道としての機能の維持や向上の評価が必要であるが、このような視点に加えて、これを実現していくための費用の問題も度外視できない。現在の水道管路を取ってみてもその更新率は年間1%に止まっており、これは水需要の低迷による経営問題が根本にあるが、上下水道システムを将来にわたって健

全に機能させていくためには、単に当面の費用削減でなく長期的な視点での再構築や維持更新費用の低減化について考慮する必要がある。このための手法として現在、ライフサイクルコスト(LCC)による費用の評価やアセットマネジメントによる施設維持管理手法の導入に向けての研究が上下水道のみならず様々な分野で行われている。

こうしたことから今後、次世代へ向けての新たな上下水道システムを構築していくためには、健全な水循環の形成や地球環境の保全とともに水道の安全性安定性さらに LCC など、すべての事項を総合的に踏まえることが必要であり、これを評価できる指標の設定がぜひとも必要と考えられる。

### 1 - 3 上下水道システムの総合評価に関する既往の研究

これまで、都市や流域の水循環システムに関する評価手法は種々提案され実施されているが、長期的かつ総合的な視点に立った評価事例は少ない。

谷口<sup>26)</sup>は、都市計画分野における都市魅力度の評価手法を都市の水循環システムの総合評価に用い、上水道普及率や水道料金に関する用水魅力度、下水道普及率などの排水計画魅力度、安定給水に関する用水供給計画の魅力度、水質や流量に関する地域水系の魅力度などで総合的な評価を試みている。この研究では、基準年との比(料金、普及率)や全水需要量に対する給水量の比(給水安定度)、水質基準との比(水質)など用いデルファイ法でこれらの項目を統合した評価を試みている。これはあくまで相対的な評価であり、現実の渇水被害と水道料金や建設費などとは直接リンクしない。

松本ら<sup>27)</sup>は、河川水循環利用と雨水浸透システムに関するケーススタディを行い、河川平時流量、河川水質、コスト、CO<sub>2</sub> 排出量、エネルギー等を評価指標として他流域からの導水や下水処理水の循環利用、雨水浸透システム等の影響を検討している。この研究は水循環システムを地球環境やコストを含む総合的な視点で捉える点で先駆的なものであるが、統一的な評価軸が導入されていないため個々、個別の評価にとどまっている。

氏原ら<sup>28)</sup>は都市域における地下水涵養と雨水・下水再生水利用の面から適切な水資源配置について評価しているが、地区単位の水利用の量的評価であり、環境やライフサイクルコストを含む流域の水循環システムとしての評価には至っていない。

また、木山らは<sup>29)30)</sup>環境・経済統合勘定を適用した流域の水環境の評価を試みているが、評価は水質と環境問題に限られている。

多田ら<sup>31)</sup>は、利便性などのパフォーマンスをコストと環境インパクトの積で除したエコデザイン総合価値指標を用いて、寝屋川市(人口25万人、面積24.5 km<sup>2</sup>)をモデルに高度浄水導入、都市内水資源活用、下水処理水放流先移設、ペットボトル給水の総合評価を試みているが、パフォーマンスを上水道の代替率で評価しており、総合的な水システムの評価ではない。

また、岩竹ら<sup>32)</sup>は、アセットマネジメントを用いた浄水施設の更新評価を行っているが、管路を含む水道システム全体の評価とはなっていない。

赤木ら<sup>33)</sup>は、管路更新策定にアセットマネジメント手法の導入を検討し、劣化予測式を用いて管路の更新計画策定を試みているが、これは管路に限られている。

長岡ら<sup>34)</sup>は、50年後を見据えた持続可能な水供給システムのあり方を提言しているが、まだ概念的

なレベルにとどまっている。

以上のように、これまでの評価手法に関する研究は環境影響や水量など個別の評価にとどまっており、総合的な評価には至っておらず、更に長期的な評価事例はほとんどない。

## 1 - 4 本論文の目的と構成

### 1-4-1 本論文の目的

本論文は、将来世代においても社会生活や産業活動の基盤として重要な役割を担う上下水道システムの今後のあり方を評価するための総合評価手法を構築し、本手法を用いて異なった特徴をもつ2つのモデル流域で、自律分散型や2元給水などのシステムや膜処理などの導入についての評価を行い、次世代へ向けた望ましい上下水道システムのあり方について考察することを目的としている。

### 1-4-2 本論文の構成

第1章で、次世代へ向けての上下水道システムを評価するに当たって、先ず地球環境の保全や健全な水循環に関する問題を含め、現在の上下水道システムが抱える種々の課題を検討した。

第2章では、今日人類の共通理念となっている「持続可能性」について考察するとともに、今後の望ましい上下水道システムのあり方を評価する手法と指標の検討を行い、前章での各分野毎の課題を基に評価項目を選定し、地球環境の保全や流域の水循環の健全性、水道の安定性・安全性などに関する個別項目を全て金銭価値で評価して統合した「流域水資産健全度指数」という新たな総合指標を構築した。

第3章では、指標として選定した 河川および流域指標、 水道指標、 地球環境指標、 ライフサイクル指標の各分野別項目を全て金銭で評価する手法とその算定根拠を示した。

第4章では、今回提案した評価手法を実際の流域に適用して検討するために、状況の異なる2つのモデル流域を選定し、それぞれで給排水パターンの異なる6つの検討ケースを設定した。

第5章では、第4章で設定したモデル流域での各検討ケース毎の個別評価を行い、流域の特性やシステムの違いが個々の指標に与える影響を検討するとともに総合指標である「流域水資産健全度指数」を用いて流域別にシステムとしての総合評価を行った。

第6章では、今後の人口減少による給水量の変化や温暖化による蒸発散量等の増加を想定して各流域において2つの将来シナリオを設定し、このシナリオで各検討ケースにおける総合評価を行い地球温暖化の影響等が上下水道システムに及ぼす影響等を検討した。

第7章では、次世代へ向けた望ましい上下水道システムの将来像とそれを実現するための目標値を設定し、その実現へ向けた新たな方策として 雨水浸透などの流域対策、 浄水処理での膜処理導入、 管路の高機能化、 水質の異なる上水、中水の 2 元給水方式の導入、 都市のコンパクト化、 土地利用誘導、の検討とそれらの総合評価を行ない、次世代へ向けた上下水道システムのあり方を提案した。

第8章では、本研究の成果のまとめと今後の課題を記し結論とした。

## 第1章 参考文献

- 1) 総務省:世界の統計 H18 版,2006.
- 2) 農林水産省:世界の水資源と食料生産への影響,2007.
- 3) 資源エネルギー庁:エネルギーに関する年次報告書(エネルギー白書)H18 版,2006.
- 4) 環境省:環境白書 H19 版,2007.
- 5) 化学経済:石油埋蔵量と生産可能年数,2007.
- 6) 環境省,文部科学省,経済産業省,気象庁:気候変動に関する政府間パネル(ICPP)第 4 次報告書の公表について, 2007.
- 7) 環境省中央環境審議会:21世紀環境立国戦略に向けた提言,p.2,2007.
- 8) エントロピー学会編:「循環型社会」を問う生命・技術・経済,藤原書店,2001.
- 9) 国連環境計画(UNEP):地球環境白書,2007.
- 10) 日経サイエンス:生物大量絶滅 温暖化が招いた大絶滅,2007. 01.
- 11) 環境省総合環境政策局:環境統計集 H20 版,2008.
- 12) 環境省:環境白書 H14 版,2002.
- 13) 厚生労働省健康局水道課:水道を取り巻く状況及び水道の現状と将来の見通し 水道ビジョンフォローアップ検討会資料,2007.
- 14) 国土交通省都市・地域整備局下水道部:下水道中期ビジョン～「循環のみち」の実現に向けた10年間の取り組み～,2007.
- 15) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議:健全な水循環系構築に向けて(中間とりまとめ),1999.
- 16) 国土交通省:水資源白書H16版,2004.
- 17) 国土交通省:水資源白書 H19 版,2007.
- 18) 厚生労働省:水道ビジョン,2002.
- 19) 日本下水道協会:下水道統計H17版,2005.
- 20) 国土交通省都市・地域整備局下水道部:水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について,2007.
- 21) 国土交通省社会資本整備審議会都市計画部会下水道小委員会:新しい時代における下水道のあり方について,2007.
- 22) 伊藤正美,市川惇信,須田信英:自律分散宣言～明日を拓くシステムパラダイム～オーム社,1995.
- 23) 吉川暹編:新エネルギー最前線,化学フロンティア,p.23-25, p158,化学同人,2006.
- 24) 山本和夫,健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性,健康科学総合研究 H14～16総合報告書,p.1-4,2005.
- 25) Piet Lens,Ggietje Zeeman,Gatze Lettinga 編,虫明功臣監修:分散型サニテーションと資源循環,p3-10, 技報堂出版,2005.

- 26) 谷口孚幸：循環型社会の構築をめざした都市用水システム計画法，，水道公論VOL.40.1,VOL.40.3,2004.
- 27) 松本重行,山本和夫：都市における水循環の多目的評価,環境工学研究論文集,VOL.31,p.137-147,1994.
- 28) 氏原岳人,谷口守,毛利紫乃,古米弘明,小野芳朗：都市内自己水源の有効活用に向けた水資源配置に関する基礎的検討,環境システム研究論文集,Vol.35,p.207-206,2007.
- 29) 木山正一：経済統合勘定を適用した流域水環境の実態把握と将来型管理計画への一考察,環境システム研究論文集, VOL.34,p.537-544,2006.
- 30) 木山正一：流域圏水質保全に関する持続的産業構造の評価,環境システム研究論文集VOL.35,p.219-226,2007.
- 31) 多田律夫,三浦浩之,和田安彦他：分散型水供給システムのエコデザインによる評価,環境システム研究論文集 VOL.28,p.201-206,2000.
- 32) 岩竹貴則,馬場啓輔,市川浩：アセットマネジメント手法を適用した浄水施設更新計画事例,日本水道協会第 58 回全国水道研究発表会講演集,p.60-61,2007.
- 32) 赤木信雄,金子真也,安野貴人：管路更新策定におけるアセットマネジメント手法の適用検討,日本水道協会第 59 回全国水道研究発表会講演集,p.98-99,2008.
- 33) 持続可能な水供給システム研究会(代表長岡裕)：これから50年の水供給,技報堂出版,2007.



## 第2章 総合評価手法に関する考察

本章では、第1章での課題を踏まえ、次世代へ向けた望ましい上下水道システムを評価するため、その前提となる自然や社会経済システムの持続可能性について検討するとともに、今後の持続可能な社会を支える上下水道システムの評価の手法と指標の選定について考察した。

### 2-1 持続可能性について

「持続可能性」が人類の共通理念として提起されて以来、この言葉の定義や評価指標が数多く提案され、また幅広い分野で用いられるようになってきた<sup>1)</sup>。最近では、資源・環境に止まらず各種の産業分野や地域社会に至るまで様々な分野で「持続可能性」が目標とされその達成方法が議論されている<sup>2)</sup>。

ここでは、次世代へ向けた望ましい上下水道システムを評価するにあたって、先ずその前提となる持続可能性について考察した。

#### 2-1-1 持続可能性に関する議論の経過

これまでの人間の文明史の中で、過剰な灌漑用水の利用によるシュメール文明の崩壊(紀元前2000年頃)や人口過剰と森林資源の枯渇によるイースター文明の衰退(1550年)など環境が文明を滅ぼした事例が多くあり、これらは人間社会の進歩、発展には環境または資源上の制限からくる物理的限界があることを示してきた<sup>3)</sup>。近年、産業革命を契機に、鉱物・化石燃料などさまざまな資源を大量消費し、生じた汚染物質を環境中に放出してきた。これは地球上の資源の枯渇や環境への影響を顕在化させ、成長の限界や持続可能性に関する議論を活発化させてきた。このような近年から現在にいたる持続可能性に関する議論を年代順に以下に示す<sup>4),5)</sup>。

19世紀初頭:「人口論」人口増加と食糧生産能力の限界を説く

イギリスの経済学者 T.R.マルサスは、人口爆発による食料不足に警鐘を鳴らし、これを初めて経済学の中心的命題として捉えた。

19世紀半ば:「石炭問題」で石炭の生産・消費の総量規制を主張

イギリスの経済学者・論理学者 W.S. ジョヴォンズは、蒸気機関の熱効率上昇はエネルギー消費を増大すること(ジョヴォンズの法則)から石炭の生産消費の総量規制の必要性を主張。

19世紀半ば:人類を“幸運な相続人”と位置づけ

ドイツの物理学者 R.J.E. クラウジウスは、人類は、地球システムが膨大な時間の中から遺贈してくれた資源を幸運にも満喫できる生物種として進化を遂げたが、この幸運は未来永劫続くことはありえないとエントロピー理論から分析した。

19世紀半ば:「経済学原理」定常経済論を提起

イギリスの古典派経済学者 J.S.ミルは、国民所得、消費、投資、物価水準といった経済指標が一定で推移する状態を示す定常経済論を提起し「資本及び人口の停止状態なるものが、必ずしも人間的進歩の停止状態を意味するものでない、表面的には経済が停滞しても、実際には人々の間には文化的な交流があり、むしろ「人間的な活動」が行われるとした。

19世紀後半から20世紀の初頭:MSY(maximum sustainable yield)理論

漁業資源の乱獲競争への反省から資源利用の「持続可能性」の問題が広く問われるようになった。

1966年:「宇宙船地球号」(Spaceship Earth)

アメリカの経済学者 K.E. ボールディングは、地球を一つの宇宙船と見立て、宇宙船の中の物は有限であり、宇宙船の内部で出す物質は宇宙船内部を汚染するという「宇宙船地球号」(Spaceship Earth)の考え方を示した。この考え方は、人類が地球上で生存していくためには常に地球の有限性を考えて行動しなければならないことを示した。

1972年:「成長の限界」(The Limits to Growth)

ローマクラブが人口増加や環境悪化などの現在の傾向が続けば100年以内に地球上の成長は限界に達すると警鐘を鳴らし、地球の破局を避けるために、成長から世界的な均衡へと移っていくことの必要性を提示。

1972年:生き残りのための青写真(英国雑誌 Ecologist)

安定した社会が無限に維持できる社会の前提条件として 生態プロセスの最小限の攪乱 物質とエネルギーの最大限の保全 人口増加の停止 これらを楽しむような社会システムを提示

1980年:「持続可能な開発」(Sustainable Development)

国際自然保護連合(IUCN)、国連環境計画(UNEP)、世界自然保護基金(WWF)が「世界自然保全戦略」を発表。「持続可能な発展」を初めて公式文書で使用し、「開発」と「保全」について定義づけ。「開発」(development)とは人間にとって必要なことがらを満たし、人間生活の質を改善するために生物圏を改変し、人的、財政的、生物的、非生物的資源を利用すること。「保全」(conservation)とは将来の世代のニーズと願望を満たす潜在的能力を維持しつつ、現在の世代に最大の持続的な便益をもたらすような人間の生物圏利用の管理。

1987年:我ら共有の未来(Our Common Future)

国連環境特別委員会(World Commission on Environment and Development:WCED)(通称:ブルントラント委員会)が「持続可能な開発」(sustainable development)を定義。「持続可能な開発」とは「将来世代の要求を損なうことなく現在の世代の要求を満たす開発(Development which meets the needs of the current generation without jeopardizing the needs of future generations)」

1992年:「アジェンダ21」環境と開発に関するリオ宣言(以下「リオ宣言」)

国連環境開発会議:地球サミット(UN・1992年)で「持続可能な開発」を実現するための行動計画としてリオ宣言が採択され、持続可能な開発を達成するため、環境保護は、開発過程の不可分の部分とならなければならない、それから分離しては考えられないものであるとした。「人類共通の目的として、現在の経済成長至上主義を、地球の生態系に配慮した(地球の環境容量に配慮した)発展に転換しなければならない」ということが世界的に合意された。

2002年:持続可能な開発に関するヨハネスブルグ宣言

ヨハネスブルグサミットで「我々は、持続可能な開発の、相互に依存しかつ相互に補完的な支柱、即ち、経済開発、社会開発及び環境保護を、地方、国、地域及び世界的レベルでさらに推進し強化するとの共同の責任を負うものである。」と宣言、持続可能な発展の為には、環境面の取り組みだけでなく経

済社会的な課題の克服が不可欠であることで合意された。

こうした経緯から、現在国際社会においては、「持続可能な発展とは、地球の有限性を前提とし、貧困問題などの経済社会的な課題解消を目指した発展」との認識が広まりつつある。

## 2-1-2 持続可能性指標

### (1)社会全体としての持続可能性指標

1992年のリオ宣言の第40章では「意思決定のための情報」には、持続可能な開発の実現には意思決定の拠り所となる正確な情報を計画的・継続的に収集・整備する必要があるとし、環境要素が適切に評価された指標体系の開発を求めた。これを受け、これまで以下に示すような現在の社会活動と環境負荷を結びつけ、持続可能な社会の実現に向けた社会全体としての種々の指標が提案されてきた<sup>6),7)</sup>。

#### 経済的指標

GNNP (Green Net National Product: グリーン国民純生産):

国民純生産から自然資本の減耗分の価値額を引いた生産額の増加

ISEW (Index of Sustainable Economic Welfare: 持続可能経済福祉指数):

所得分配、環境、家事労働や余暇などを考慮した1人当たり消費の持続的な増加

#### 環境的指標

CEI (Core Environmental Indicators of OECD: OECDのコア環境指標):

環境政策を分析するために、約50以上の環境関連指標を設定

ES (Environmental Space: 環境空間容量):

ある資源の使用量、汚染の排出量に対する、一人当たりの許容限度

EF (Ecological Footprint: エコロジカル・フットプリント):

持続可能な生活に必要な一人当たりの土地面積

2005 ESI (Environmental Sustainability Index: 環境持続可能性指数):

21の環境指標から2005年現在の世界各国の環境状態を点数化し、ランク付けしたもの

#### 社会的要素を含む指標

HDI (Human Development Index: 人間開発指数)

平均寿命、教育達成度、1人当たり実質国内生産から求められる指数

SIS (Socio-ecological Indicators for Sustainability: 持続可能性のための社会環境指標):

資源抽出量、社会的に生産された物質の量は生態系の物理的な条件を満たしながら、人間のニーズに必要なものだけが効率的に生産されることが、持続可能な発展であるとし、そのための指標を提案

ISD (Indicators of Sustainability Development: 持続可能な開発のための指標):

経済・環境・社会・制度の4つの部門で134の指標を提案

### (2)環境効率性を示す指標・目標

1992年の持続可能な発展に関する世界経済人会議(WBCSD: The World Business Council for

Sustain-able Development)においては、「人間のニーズを満たすことを前提として、生活の質を高めるモノとサービスを、そのライフスタイル全体にわたる環境への影響と資源の使用量を地球が耐え得る限度以下に徐々に引き下げながら、競争力ある価格で提供することにより、環境効率は達成される」とし、そのためには、「製品、サービスの物質集約度の低減」、「製品、サービスのエネルギー集約度の低減」、「製品の利用密度の向上」等が必要であると提言。

このような「環境効率性(eco-efficiency)」という視点からの指標や目標には、以下のようなものがある。

<海外での指標・目標>

「ファクター10」

1991年ドイツのヴッパータール研究所は持続可能な発展を実現するためには、今後50年に資源利用を現在の半分にする必要があり、人類の20%の人口を占める先進国がその大部分を使用していることから、先進国において資源生産性(その財により入手できるサービス単位の総計を、その財を生み出すための物質、エネルギー等の総消費量で割ったもの)を10倍向上させる必要があり(「ファクター10」)、サービスの簡素化、デザインの改善、資源効率性の改善等の脱物質化に向けた取組により、それは可能であると提言。

『ファクター4～豊かさを2倍に、資源消費を半分に』ファクター4

「ローマクラブ」はレポート「第一次地球革命」(1992年)の中で、世界全体で「豊かさを2倍に、環境に対する負荷を半分に」するために、資源生産性を現在の4倍にする必要があると報告。

2000ワット社会

2002年スイス、快適なライフスタイルを維持しつつ化石エネルギーの消費を6分の1に抑制し、エネルギー消費を毎時一人当たり現在(2000年)の5,000Wから2,000Wにまで引き下げを目指す。

<日本での指標・目標>

トリプル50(2030日本エネルギービジョン)<sup>8)</sup>: 東京大学持続型社会研究協議会

世界の範となる持続型社会を実現するための技術開発の挑戦目標。 エネルギー自給率50%、エネルギー利用効率50%、化石燃料依存率50%を設定。

21世紀環境立国戦略(2007)<sup>9)</sup>: 環境庁

地球温暖化の危機、資源の浪費による危機、生態系の危機を人類が直面する最大の試練として持続可能な社会に向けては、「低炭素社会」、「循環型社会」又は「自然共生社会」の実現が必要としている。

JFS 指標(Indicators of Japan for Sustainability)<sup>10)</sup>: ジャパン・フォー・サステナビリティ

資源・容量、時間的公平性、空間的公平性、多様性、意志とつながりという5つの持続可能性に関する価値概念を基に、日本の固有の事情を考慮し、環境(Nature)、経済(Economy)、社会(Society)、個人(Wellbeing)の4つの機軸を設定、約200の持続可能性データ群から20項目(4機軸×5)の指標を選定。これらの個別指標は2050年を目標値(100点満点)として、その達成割合で総合指標化しており、2005年現在の数値は33.5点であるのに対して1990年時点では41.3点で、日本全体では持続可能な社会から、遠ざかりつつあるという試算結果が出されている。

脱温暖化2050プロジェクト<sup>11)</sup>: 2050日本低炭素社会プロジェクトチーム

日本は、2050年までに1990年に比べてCO<sub>2</sub>排出量の60～80%削減が必要とし、70%削減は、

エネルギー需要の40～45%削減とエネルギー供給の低炭素化によって可能となると試算。

### (3)持続可能性の考え方

持続可能性に関する潮流としては、元々環境を中心とした定義から様々に派生し、やがて環境・経済・社会を持続可能性の3本柱としてとらえるトリプルボトムラインの概念に定着してきている<sup>12)</sup>。またこの持続可能な社会を実現するためには、可能な限り資源・エネルギーの使用を効率化するとともに、経済活動の単位あたりの環境負荷を低減する必要性があるとする提言が多くを占めている。

また、持続可能性に対する立場は、全ての資本形態(人工物・機械などの物的資本、技能・知識などの人的資本、天然資源・環境資源などの自然資源)の間の代替可能性を認めるか否かにより、弱い持続可能性と強い持続可能性の大きく2つに分けられる<sup>13)</sup>。

現在主流となっている経済学では、市場原理によって資源が枯渇していくと価格高騰などにより需要が押さえこまれることからすべての資源は持続可能であるという基本原則を基に、「持続可能な発展は結局最適な動的資源配分に関して、効率性概念の補完的なものとして世代間衡平をいかに実現するかという問題になる」とされている。「人口あるいは天然資源使用の観点からは、それを越えると生態学的破綻をきたすという成長の明確な限界はない。エネルギー、鉱物、水、土地の使用に関しては各々異なった限界がある」という言葉が現在では「持続可能性のソフト路線」と呼ばれ、弱い持続可能性の立場に分類される<sup>14)</sup>。

だが、一方「これはあくまで資源環境面で見た持続可能性であり、実際には社会的な持続可能性という問題も考慮しなくてはならない。価格の上昇とそれに伴う需要の低下による持続可能な状態というのは貧富の差の拡大と、それに伴う紛争や難民の増加を招くことになりかねない」とされている。また、エコロジー経済学などの他の経済学では、「持続可能な発展の目標は本質的に、ある経済の物的スケールに持続可能性の基準に基づいて何らかの制約を課すことを意味している。」とされており、経済活動に対する環境効率性だけでは評価できない点も指摘されている<sup>15)</sup>。

環境経済学者のハーマン・デリー(Herman E. Daly)は持続可能性の一般的な原則として

再生可能な資源の消費ペースは、その再生ペースを上回ってはならない。

再生不可能な資源の消費ペースは、それに代わりうる持続可能な再生可能資源が開発されるペースを上回ってはならない。

汚染の排出量は、環境の吸収能力を上回ってはならない。

という3原則を示し、自然資本と人工資本の代替を否定した。これは強い持続可能性に属する立場である。福島<sup>2)</sup>は、現在様々な分野で目標とされその達成方法が議論されている「持続可能性」の要件を膨大な論文やレビューを基に「これまでの持続可能性の概念の枠組みは、1)環境容量内での生活・生物多様性や天然資源の保全といった自然条件の重視、2)世代間の公平性、3)生活水準・文化・社会・人権など、3つに分類され、持続可能性の対象は「人類」「地球上の生物」といったものが多数であるが、「それぞれの産業」や「それぞれの地域社会」が対象となることもある。」と整理している。

この内、産業の観点での持続可能性の要件の例として、農業では天然資源の損失や破壊の防止、生態系の維持、生産性、林業では生物多様性、土壌や水の保全、地球的炭素循環への寄与、社会経済便益、工業では環境効率性(eco-efficiency)などを上げている。また生活に関しては、身近な水では、

水循環に自然界における生物化学的な過程が十分機能することなどを、交通では環境(生態系を破壊せず、交通需要に応える)、経済、財政(公共交通を安定的に確保していく仕組み)、社会(過疎地域、障害者・高齢者のモビリティの確保)などを、地域社会に関しては、その地域の環境・生態系、経済に加え、精神と地域での資源調達と他地域の環境劣化を起こさない自立性などを上げている。そして、今後の持続可能性研究の課題の一つとして資源・環境というグローバルな視点での持続可能性要件と地域、産業分野、生活要素の視点での要件との関係を議論するとともに、両者を一体化して示す手法を開発する必要性があるとしている。

以上の論点から、持続可能性には、将来世代の視点が重要で、その時間軸は、少なくとも50年の長さでとらえるべきものであり、グローバルな視点での資源・環境の持続可能性は、「地球の環境容量内で高い資源の効率性(経済面での効率性と環境負荷面での効率性)と資源の公平な分配を達成すること」であり、それぞれの地域や産業分野などの持続可能性の要件にはこのようなグローバルな視点を取り入れる必要があることとなる。こうした観点から、本研究では、次世代へ向けての上下水道システムを評価するためには、その背景にある地球環境や水循環を含めた総合的な評価を行う必要があるが、その前提となる環境容量を踏まえた地球全体や流域システムの持続可能性の要件と符号するかどうかについても検討する必要があると考える。

## 2 - 2 評価手法と指標設定の考え方

### 2-2-1 指標の定義

「指標とは、ある事象を記述する多くの変数の中から、その事象の特性をよく表すために、もとの情報に含まれる内容を失わないようにしながら、より少数の変数を選んだり加工してより少数の変数に集約したものである。たとえば、経済成長率や失業率は経済活動の状況を表す指標、出生率は人口動向の指標である。指標は、複雑な系についての状況を、その分野の専門家以外の多くの人に伝える目的に有効である。」とされている<sup>16)</sup>。

「指標に相当する英語は、indicator または indices であり、indicator は多数の変数の中から選ばれた代表的な変数であり、一般的にもとの変数固有の単位をもつ indices は変数を時系列のある時点や全体の平均を母数として規準化したり(この意味で「指数」という訳がより適切である)、異なる単位をもつ変数を共通の尺度に投影することにより単位を揃えて加算を可能にしたものである。」<sup>17)</sup>

### 2-2-2 総合評価手法と指標

#### (1)これまでの取り組み

これまで環境を含む総合的な評価は、大規模な事業の実施や企業活動、国や府県のマクロな環境の評価など多くの分野で研究され実施に移されてきた。環境アセスメントは、事業の環境評価分野で発展し、現在では政策決定段階から評価しようとする戦略的アセスメントも実施に移されつつある。ライフサイクルアセスメント(LCA)は、企業の商品製造分野から出発したものであるが国際規格化されたことで、上下水道を含む広い分野で政策立案などより高次の目的での利用に発展しつつある。また環境会計は、企業の環境活動の評価手法として発展し、環境だけでなく社会・経済を含むパフォーマンス評価の反

映へと移行しつつある。マクロ経済の分野では、グリーンGNPといわれる環境経済統合勘定の導入が進められている。また総合評価の指標としては、前節で示した持続可能性指標や効率性指標などがある。そのほかにも国の「総合的環境指標」など国や地域の豊かさや幸福度を評価する指標の検討や導入も行われている。

公共事業の評価に関しても、従来は「費用便益分析」を中心行われてきたが、最近では指標を用いた総合的な評価手法も導入されつつある。

## (2) 指標の分類

これらの評価手法の指標項目は多種多様で分類方法も多数あるが、国内外の事例を指標の数で分類すると、単一指標(指数)と指標群(指標)に分けられる。単一指標(指数)は、全体の理解が容易で計画全体のコンセプトを広く伝えやすくなる反面、指標の統合による、個別情報の損失が大きく、単一化により、一面的な評価になるおそれがある。指標群では、個別情報の損失が少なく、多面的な評価が可能な分、全体の分かりやすさが犠牲になり、全体の評価・コンセプトが曖昧になると指摘されている<sup>18)</sup>。

また、指標は複雑な系についての状況を多くの人に伝えるためのツールであることから、情報を定量化し、また単純化しなければならない。環境指標に関しては、**現データ 分析されたデータ 指標** 指数という三角構造で表される。最下辺はCODや流量などの実際の自然環境データであり、これらのデータは分類され統合されるなどして分析され、さらに政策当局や個人に理解できるほどに集計したものが指標となる。CO<sub>2</sub>やメタンなどを温暖化係数で換算集計した地球温暖化ポテンシャルなどがこれにあたる。これらは主に自然科学的な手法でなされる。さらに単一指標へ向けた指数の段階では基本的に単一の数量まで統合する必要がある。これには自然科学的な評価でウェイト付けが困難なことが多いことから社会経済的評価が用いられることが多い。

ここでは、次世代へ向けての上下水道システムを評価する目的から、安全性や安定性といったシステムが人間生活に及ぼす直接の影響評価とともにこのシステムを支える自然社会環境への影響評価を含める必要があることから、個別指標として地球環境や水循環に関する指標、水道の安定性と安全性に関する指標などを用い、これらを単一指標に統合した総合指標(「指数」indices)を用いることとした。

## (3) 指標の総合化

このような指標の統合化に関して、これまで LCA では、影響項目の特性化結果に対して、環境問題の重み付けによって統合化を試みる問題比較型といわれる手法を中心に開発が進められてきた。この代表的な重み付けの方法には、アンケートなどを利用して支払い意思額などを問う方法や、環境目標とその達成度を指標として利用する DtT 法、専門家などが重み付けするパネル法などがある。国の公共事業評価の考え方でも、総合評価に住民のアンケートが示されている。しかし、近年では問題比較型の統合化手法についての問題点が指摘され、欧州を中心として新たな被害算定型と呼ばれる統合化手法の開発が主流となりつつある<sup>19)</sup>。このほか単一指標による環境全般の総合評価方法として土地面積やエネルギー消費量、物質の総使用量などで環境影響を間接的に表現する「エコロジカルフットプリント」や「エコロジカル・リュックサック」、「エコスペース」などが、目標値と現状値との差が環境影響を

顕示するものと仮定した基準比較法などがある。また地域計画の分野では、住民アンケートを通じて環境の質の重み付けなどを行い地域環境の総合評価が行われてきた。

上水道の分野では、これまで事業の評価には普及率や経営収支などが、また環境評価には有収率や水質、電力使用量などの指標が個々の事業体で独自に用いられてきた。最近では環境会計を導入する事業体も増加してきている。こうした中で、2005年に「水道事業ガイドライン」<sup>20)</sup>が制定され、水道の安心に関わる水源の保全、水質管理や環境にかかる温暖化防止、健全な水循環などの137項目の業務指標が導入され、統一した基準で事業を評価できるようになった。これにより全国レベルでの個々の課題の他事業体との相対的評価が可能になったが、これは事業体単位での指標群による評価指標であり、絶対的な評価や総合的評価、さらには流域全体としての水循環や下水道との関連評価などの課題は依然として残されている。また、流域の水環境の総合評価指標に関する最近の研究では、M.Hanらによる都市水源の自律性を示すLWIR(Local water independency ratio)指標<sup>21)</sup>や地区内の水利用の自律性を表すウォーターサプライ・フットプリント(WSFP)指標<sup>22)</sup>が提案されているが、これらはマクロな評価指標であり、治水、利水、環境といった個々の評価には適さない。上下水道分野では、エコデザインによる評価<sup>23)</sup>、LCAを用いた上下水道の評価<sup>24),25)</sup>やLC-CO<sub>2</sub>を炭素価格で評価しLCCと統合した総合評価指標<sup>26)</sup>の研究も進められているが、環境影響だけでなくシステムの安全性・安定性などの社会的影響や維持管理コストなどの経済的影響を含めて統一的に総合評価できる指標には至っていない。

こうした背景を基に本研究では、次世代へ向けた上下水道システムの構築という視点から、地球環境や流域の治水、利水、環境、上下水道システムの安全性、安定性を全て貨幣価値で評価し、ライフサイクルコスト(LCC)を含めて「流域水資産健全度指数」という新しい指標で全体を統合的に評価する手法を構築したものである。

#### (4) 貨幣による総合評価と制約条件

これまでの総合的な指標には、環境効率性や環境容量、物質フロー、貨幣価値などを用いる方法があるが、貨幣価値ですべてを統一する研究事例は少ない。「経済価値化は環境影響により受ける被害量、例えば人間の損失余命を貨幣価値で評価することで得られる。このような評価は倫理的な問題や代表的な環境価値を測ることの困難さなど多くの論点が存在するが、費用対便益分析や環境会計など、様々なコミュニケーションツールとして活用できるため、その利用性は医療経済や環境経済、政策評価において高く評価されている。」<sup>10)</sup>とされており、評価の手法として、ここでは実用性や汎用性、住民の理解しやすさを考慮し、貨幣評価を用いることとしたものである。

これまで、このような金銭価値による事業の評価は、今日の主流となっている経済学の分野で費用便益分析として研究され発展してきたが、この手法の目的は事業の実施の可否を判断するため効用や便益などのプラス効果を費用や被害などのマイナス要因と比較するもので、最近では波及的影響や環境への影響も費用化して評価に含む方向に進められている。このような評価は確かに事業の効率性評価につながるものであり、効率的に事業を進める上で大きな効果を有するものであるが、これが経済の無限の成長を前提にしていることも否めない。効用や効果は人が判断するものであり、人間の欲望には限度がないことから、環境に対して大きな影響があっても効用が大きければ事業は実施されることになる。



効率の悪い無駄な事業は排除されるにしても、事業は際限なく続けられることになり、持続可能性に求められる環境容量的な制約は出てこないことになる。また一旦生起すると取り返しのつかない甚大な影響と被害をもたらすカストロフィックなリスクを評価することも困難である。また、第1章で検討したように、持続可能性の議論には、自然資本で環境容量を設定する強い持続可能性と社会資本での代替を認める弱い持続可能性がある。20世紀末には持続可能な社会の構築の必要性が認識され「環境と経済の両立」を課題として、種々の指標設定や政策が実施されて来たが、これらは主として経済効率性を求めるものであり弱い持続可能性に近いものであった。現実には、わが国ではエネルギー等の利用効率を上昇させながらもCO<sub>2</sub>の排出量は増大している。また、森林伐採による宅地造成や河川の人口水路化や途上国での熱帯林伐採など自然資本を利用し減耗させるなど、自然資源を削り取り人工資本に替えながら経済活動を拡大してきたことも事実である。

現在政治経済政策や制度の基本理論となっているいわゆる新古典経済学は、主に経済効率性を求めるものであり、環境問題を外部経済ととらえそれを内部化することによって解決できるものとして種々の政策制度が実施に移されてきている。ヨーロッパで導入が図られている環境税や地球温暖化対策としての京都メカニズムで示された排出権取引など当面の具体的政策の立案と実施に当たってこれらは有効であり、さらなる推進が必要である。また、事業実施に伴う費用便益分析は事業の効率的実施にとっては不可欠な手法である。しかしながら、デリーが主張しているように喫水線に配慮せずタンカーにバランスよく効率的に荷物を積む手法を実践しているともいえ、いずれはバランスよく沈没していく運命にあるとも考えられる<sup>12)</sup>。今、まさに現在の文明を支える石油資源の枯渇も目の前に迫っている。我々の生活を支える水も食糧資源も危機的状況を迎えるのは目に見えている。地球温暖化問題をはじめとしてこれらの問題は、現在の社会経済の延長線上では解決できないことが、多くのシナリオアプローチやバックカスティング手法によって示されている。

こうした視点から、2050年の望ましい持続可能な社会の実現のためには、多くの分野で強い持続性を基にした社会の形成が必要であり、望ましい水循環の形成や次世代へ向けての新しい上下水道システムの構築に当たってもこの視点からの検討を無視することはできないと考える。

このような強い持続性の観点から流域の水循環システムのあり方を検討していくためには、相対的な質の向上や効率性だけでなく、何らかの容量を設定しその視点からの評価が必要と考えられる。こうしたことから、本研究では次世代へむけた上下水道システムを評価するため、環境やリスクを含む貨幣指標による総合的な効率性評価を行うとともに強い持続可能性確保の立場に立って環境容量等による制約条件を設定し、グローバルな視点での持続可能性との整合性を検討することとした。

## 2-3 環境の貨幣評価手法

### 2-3-1 環境経済学のアプローチ

環境を経済評価する試みは、経済学の分野で環境経済学として種々なされてきた。

環境経済学の課題は、環境問題の原因を明らかにすること、環境破壊の影響を評価すること、環境対策を実現するための政策手段を示すことであり、環境問題に対する環境経済学のアプローチとして植田らは、物質代謝論アプローチ、環境資源論アプローチ、外部不経済論アプローチ、社会的費用論アプローチ、経済体制論アプローチの5つをあげている<sup>27)</sup>。

第1の物質代謝論アプローチは、人間の経済活動を生態系や自然システムとの関係において捉え、環境破壊や汚染はこの経済活動と生態系双方を貫くシステム(物質代謝機構)の崩壊から生じたとする考え方で、現代の環境問題を人間と自然との間の物質代謝過程のあり方として分析するものである。エコロジー経済学やエントロピー経済学が代表的なアプローチである。

第2の環境資源論アプローチは、現代の環境問題について環境資源(代表的なものとして森林資源、水資源、水産資源等)をめぐる経済問題として捉えようとするアプローチ。ストックとしての環境資源の持続可能な合理的利用とそこから生み出されるフローとしての環境サービスの最大化の関係を分析するものである。

第3の外部不経済論アプローチは、今日の経済学が環境問題に取り組む主流的なアプローチで、マーシャルの「内部性・外部性論」やピグーの「厚生経済学」の流れをくむもので「市場の失敗」に基づく外部不経済を何らかの公共的政策手段を用いて市場経済に内部化するという考え方である。

第4の社会的費用論アプローチは、社会的費用という経済学上の概念を用いて環境問題の発生原因を分析し、それに対する環境政策のあり方を考えるアプローチで、社会的費用の発生は私企業体制の下では不可避であるとした。

第5の経済体制論アプローチは、公害や環境破壊の原因、構造、解決へのアプローチを社会経済制度やシステムとの関わりで捉え、経済体制のあり方の重要性を強調する政治経済学的方法論に基づくアプローチで環境問題の解決には、経済体制上の諸要因を分析していく必要があるとしている。

このようなアプローチの中で、第1の物質循環分析論が最も包括的な理論で、第5の社会経済体制論と共に、これは従来の経済学の枠組みを超えた広義の経済学という範疇からアプローチを試みたものであり、これに対して第2の環境資源論、第3の外部不経済論や第4の社会的費用論は、経済学本来の枠組みの中から解決への手がかりを得ようとしたものであるとされている。

### 2-3-2 環境の価値分類

第2第3の環境資源論と外部不経済論アプローチは、今日経済学が環境問題に取り組む場合の主流的なアプローチであり、これまで税や補助金、排出権取引といった手段で効率的に環境を利用する理論を提供してきた。これらの経済的効率性の大前提は、便益も費用も貨幣価値として与えられていることである。今回は、貨幣価値による総合評価を目指すことから、環境への負荷を外部不経済として貨幣評価する外部不経済論アプローチの手法が参考になる。今日の経済学では、環境の価値を、概ね、下図のように分類している<sup>10)</sup>。

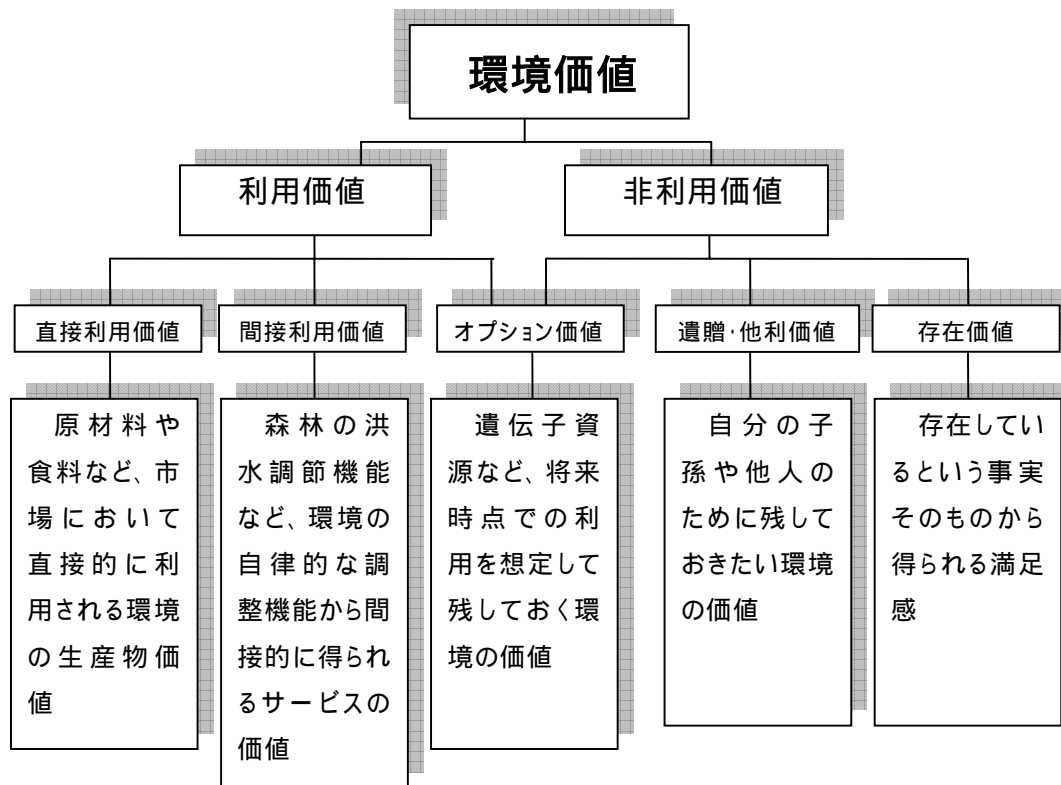


図 2-3-2(1) 環境価値の分類

(1) 利用価値(use value)

人間が実際に利用する環境の価値で、直接利用価値(direct use value)と間接利用価値(indirect use value)に分けられる。直接利用価値とは、環境の自律的な働きから得られる生産物が直接市場で価格づけられるもので、木材、穀物、漁獲などである。間接利用価値とは、環境の自律的な働きから得られるサービスが、間接的に人間の経済に便益を与えるもので、森林の気候調節機能、洪水調節機能のほか、海水浴、森林浴などの場を提供する機能などが含まれる。

(2) 非利用価値(non-use value)

実際に利用しない環境の価値で、遺贈価値(bequest value)は、将来世代のために遺しておきたい環境の価値。他利価値(altruism value)は、近親者や友人のために遺しておきたい環境の価値である。

存在価値(existence value)は、存在しているという事実そのものによって得られる満足感を指す。オプション価値(option value)は、利用価値と非利用価値の中間形態で、将来時点での利用を想定して残しておく環境の価値をいう。将来の薬品利用などのために保全される遺伝子資源、将来におけるレクリエーション利用のために保全される自然などが該当する。

### 2-3-3 環境の貨幣評価方法

現在用いられている環境の貨幣評価手法は、図 2-3-3(1) のようにまとめられている<sup>28)</sup>。

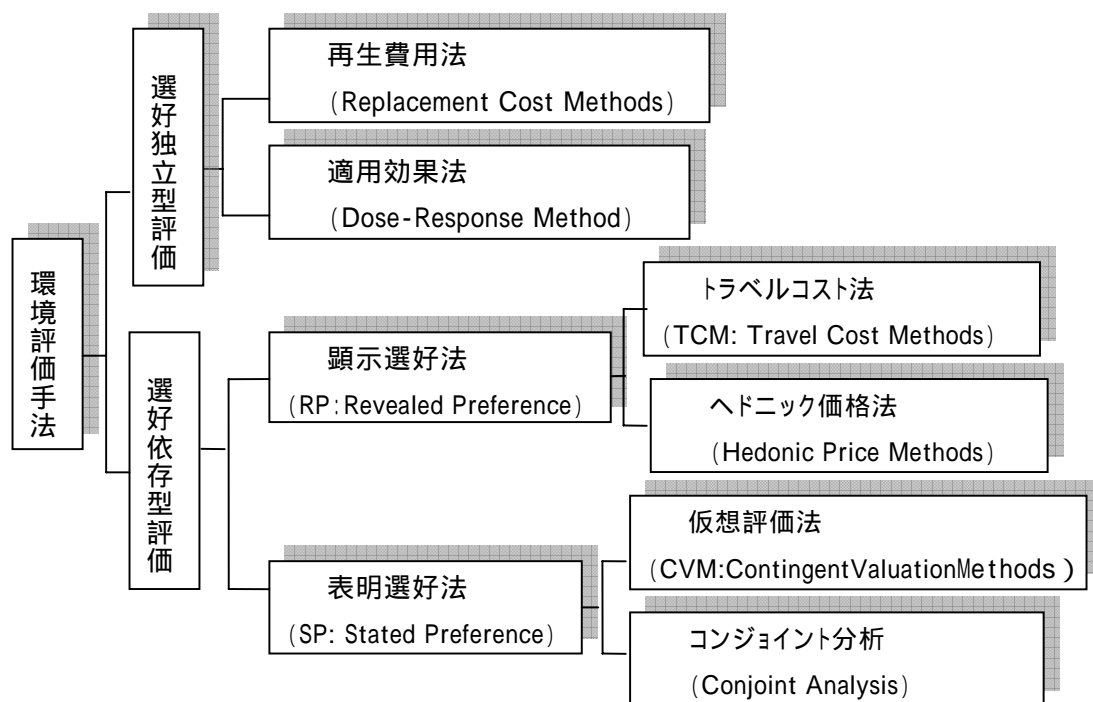


図 2-3-3(1) 環境評価手法の分類

#### (1) 選好独立型評価法

##### 再生(代替)費用法(Replacement Cost Methods)

失われた環境を回復させるための費用や、代替的な対策の費用で測る方法。公害の被害の大きさを公害防止設備に対する支出額や、森林の保水機能を同じ量の水をダムで蓄えた場合のダムの建設費などが該当する。代替財の市場価格により評価を行うため、直感的に理解しやすくデータ収集が比較的容易であるが、代替財の選定によって不適切な評価結果がもたらされる。

##### 適用効果法(Dose-Response Method)

環境の悪化で発生する直接的な被害額や、環境の向上による物の市場価格への影響などで測る方法。医療費給付額や補償支払額などでの公害被害の把握や森林を木材生産額で評価することが該当する。

#### (2) 選好依存型評価法

##### 顕示選好法(RP: Revealed Preference)

##### 旅行費用法(Travel Cost Method)

海水浴やレクリエーションに人々が支払う旅行費用を調査して、その金額を海水浴場や野外レクリ

エーションの場の環境価値とするもの。複数目的地での行動が含まれる場合は過大評価になる恐れがある。

ヘドニック価格法 (Hedonic Price Methods)

騒音、振動、大気質、水質など環境が地価、住宅価格、賃金などに及ぼす影響を推定して環境価値を算定する方法。地価データを基本とするため、データが集めやすいが、地価関数の変数に騒音や大気汚染等の密接な関係にあるとうしが含まれる場合は安定性が損なわれる

表明選好法 (SP: Stated Preference)

仮想評価法 (Contingent Valuation Method = CVM)

アンケート等により環境の改善や悪化の状態を回答者に示して、環境改善に対する支払い意思額や環境悪化の受け入れ意思額を聞き出す方法である。最も適用範囲の広い手法で、原理的にはあらゆる効果を対象にできるが、調査の段階で効果の符号を一方に設定しなければならない

コンジョイント分析 (Conjoint Analysis)

多数の環境政策の代替案を示して、どの案を選択するのかを聞き、属性別に環境価値を評価する方法。多属性の評価対象を属性単位で評価できる。主に計量心理学やマーケティングの分野で開発された手法で1990年代後半に入ってから環境評価の分野に導入されてきた。マイナスの評価も可能であるが適切な手順を踏まないとバイアスが発生し、推計精度が低下するおそれがある。

このほかの手法として

回避行動法 (abatement cost)

水道の水質が悪化したことによって消費者が浄水器を購入したり煮沸したりするなどの行動をどの程度負担するのかを、貨幣価値で推計するもの。

便益移転 (原単位法など) (Benefit transfer)

他の経済評価事例の中から基本的な原単位を当該事業に適用する方法であり、他事例を用いるので簡便に行えるが、条件が近似していないと適用が困難とされている。

#### 2-3-4 貨幣評価の導入方法

貨幣評価は、一般にもわかりやすい判断材料を与えることができるという点で有益である。特に、対策の費用と対策による便益を貨幣価値で比較して意思決定するという費用便益分析を用いる際には、対策の便益を貨幣価値で表示する必要がある。また、仮想市場法など個人の選好に基づく貨幣評価は、現在主流となっている経済理論になじみやすい。このような表明選考法に関して、わが国では経済学・工学・農学など様々な分野で研究が行われてきており、1998年には公共事業の効率性を評価する再評価システムの導入が宣言され、CVMが「費用対効果」評価に使用されてきた。表2-3-4(1)は、国土交通省関係の環境評価マニュアルで示された貨幣評価の手法である<sup>29)</sup>。また、地球温暖化対策の一つの柱と位置付けされている排出権取引もCO<sub>2</sub>の価値を貨幣価値で評価することになる。安全対策や環境対策でのリスク対効果の評価に際しても、命の貨幣価値である確率的生命価値が用いられており、この価値の算定でも、CVMやコンジョイント分析が用いられている。しかし環境には、非排除性、非競合性、不可逆性、分解不能性、地域固有性、不確実性、公共財など市場で取引される財・サービスにはみられない幾多の性質を有している。

「今日、地球環境問題解決への有効なアプローチとして、「外部不経済論」が改めて提起されているが、これに全てを託すことはできない。経済活動、物理的・物質的生産、その環境・福祉等への影響の間には複雑な関係があり、問題の解決には学際的な研究と総合政策的アプローチが不可欠であるからである。市場の役割を過度に強調する新古典派理論がこの点で失敗していることは明らかである。」との指摘もある<sup>30)</sup>。

表 2-3-4 (1) 国土交通省関係環境評価マニュアル

名称	マニュアルで扱われている事業(主な評価項目)
仮想市場法 (CVM) (Contingent Valuation Method)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川環境整備事業(親水性、自然環境、景観等)</li> <li>・ダム周辺環境整備事業(景観、環境の改善等)</li> <li>・海岸事業(災害による精神的被害、海岸利用、環境保全)</li> <li>・急傾斜事業(安心感向上効果)</li> <li>・下水道事業(公共用水域の水質保全効果)</li> <li>・港湾事業(港湾旅客の利用環境改善、自然環境保全等)</li> </ul>
コンジョイント分析 (Conjoint Analysis)	
トラベルコスト法(TCM) (Travel Cost Method)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模公園事業(直接利用価値)</li> <li>・港湾事業(交流・レクリエーション価値)</li> <li>・ダム周辺環境整備事業(ダム湖利用価値等)</li> </ul>
ヘドニック価格法 (Hedonic Price Methods)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市街地再開発事業・土地区画整理事業</li> <li>・住宅関連整備事業(周辺地価の上昇分)</li> </ul>
代替法 (Replacement Cost Methods)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模公園事業(環境・景観の保全価値)</li> <li>・下水道事業(生活環境の改善効果、便所の水洗化効果)</li> <li>・ダム周辺環境整備事業(貯水池の濁水の改善)</li> </ul>
便益移転(原単位法など) (Benefit transfer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土地区画整理事業(原単位はヘドニック・アプローチで作成されているが、評価には、場合分けされた原単位をそのまま使うことができる。)</li> <li>・鉄道事業(<math>\text{NO}_x</math>、騒音、<math>\text{CO}_2</math>)・港湾事業(<math>\text{NO}_x</math>、<math>\text{CO}_2</math>)</li> </ul>

ここでは第1章で記した持続可能性を評価する基準として、今日の経済学が求める効率性とともに環境の容量を評価項目とすることから、ここでは、これまでの費用対効果分析で積み上げられた貨幣評価手法を中心にしながらも、物質代謝アプローチに基づく環境容量や予防原則なども踏まえながら環境等の金銭化評価を行うこととした。

## 2 - 4 指標の選定と総合評価手法

本節では、次世代へ向けての上下水道システムを評価するため、前章の諸課題を踏まえて地球環境、水循環、水道、LCC の4部門に分けて個別指標を選定するとともに、総合評価指標の設定を行った。

### 2-4-1 指標の選定方法

環境経済学者のハーマン・デリーは環境・経済・社会の持続可能性について、図 2-4-1(1)に示す「デリーの三角形」を提示している。これによれば「一番下

の段に究極の手段としての自然環境、中間の段に経済・技術・政治、倫理、そして一番上の段に究極目標として平等と人間の福祉(Well-being)が位置付けられるとしている。すなわち、技術や経済はそれ自体が目標ではなく、究極目的を達成するための手段である。経済は自然環境を保全し再生する程度によって、そしてまた、私たちの究極目的である平等、人間の福祉を達成する度合によって、その成功度が計測されなければならない」としている<sup>10)</sup>。

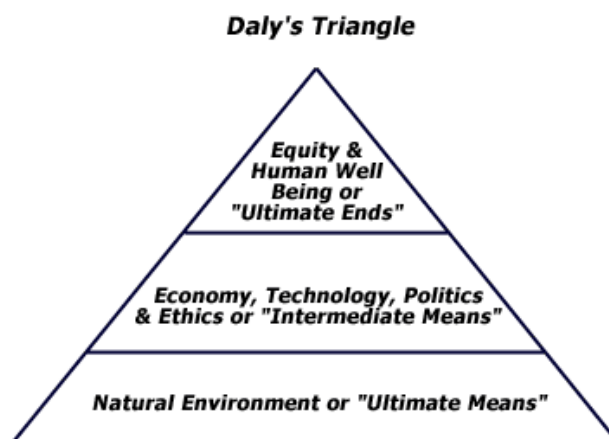


図 2-4-1(1) デリーの三角形

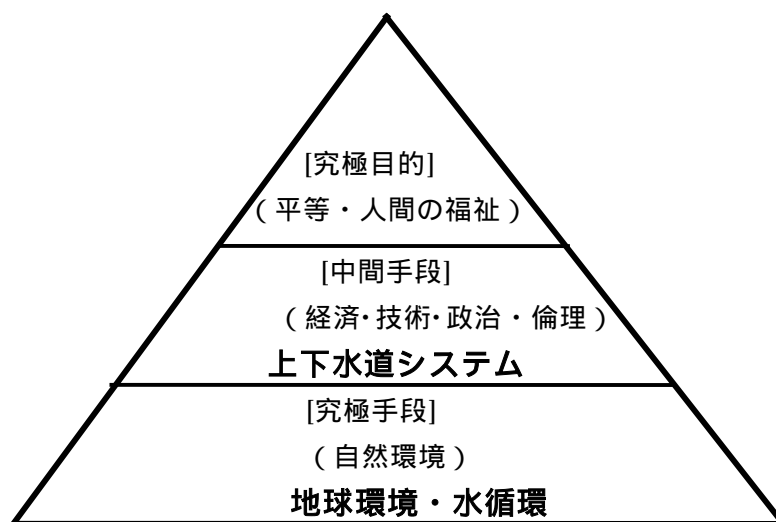


図 2-4-1(2) デリーの三角形への上下水道システムの位置づけ

デリーの三角形の中に、図 2-4-1(2)に示すように上下水道システムを位置づけると、究極の目的である文化的で健康な生活を確保するために、中間手段として上下水道システムがあり、それを支える究極の手段が地球環境と水循環という自然環境ということになる。持続可能な社会の実現を上下水道シ

システムの視点から捉えれば、深刻化する地球環境と水循環に関わる種々の課題に適切に対応し、地球環境の保全と健全な水循環の形成を図る中で、上下水道が抱える諸課題を解決し、次世代へ向けての安全で安定した上下水道システムを構築していくこととなる。

国の水道ビジョンにおいてもこの点に関して、「我が国の水道に課せられた使命は、築き上げられた世界に冠たる水道を、国民とともに関係者が一体となって次世代以降の将来の世代に引き継いでいくことであり、半世紀から一世紀の将来を展望しつつ、現在抱えている課題はもとより、今後発生するであろう様々な課題に対しても適切に対処していくことにある」としている<sup>31)</sup>。

このような広範囲にわたる課題解決へ向けての対策や政策を評価するためには、評価指標や環境等を含む総合的な費用便益分析による総合評価手法等が用いられる。今日、指標による環境や事業やシステムの評価は、国レベルのマクロなものから、企業や製品といったミクロのものまで様々な分野で用いられているが、評価指標に用いる項目の選定が重要な要素となる。これまで指標評価項目の選定に関して、都市環境評価の分野では、住民アンケートや専門家などの意見を基に課題を選定し決定されることが多く、またLCAの分野では、製品やシステムにかかわる資源やエネルギー、環境負荷などの出入力項目(イベントリー)が資源の枯渇や地球温暖化などの環境影響評価項目に分類され、この評価項目は評価の目的や課題を基に設定される。このように指標選定の基となるのは持続可能性を阻害する種々の課題やその要因である。1章で記述したように今日の地球環境、水循環、上下水道が抱える諸課題については、多くの機関や研究者により種々議論がなされているところである。これらの課題の項目や重要度の評価についてはほとんど共通しているが、個々に見れば若干の差異が見られることから、ここでは公開性、認知度等を踏まえて、地球環境については環境省の環境白書<sup>32)</sup>、水循環については国の関係5省庁でまとめられた健全な水循環のあり方<sup>33)</sup>、上水道については、厚生労働省の水道ビジョン、下水道については21世紀下水道ビジョン<sup>34)</sup>を基に課題を抽出し、次世代へ向けた新しい上下水道システムを評価する指標を選定することとした。

#### 2-4-2 地球環境(地球環境問題への対応)

地球環境問題は被害、影響が一国にとどまらず、国境を越えひいては地球規模にまで広がる環境問題であり、環境白書<sup>22)</sup>では地球環境にかかわる問題として「地球の温暖化」、「森林の減少・劣化」、「土壌劣化・砂漠化」、「生物多様性の減少」、「水資源の安定的利用の困難化」、「エネルギー資源の枯渇」が挙げられている。

これらの項目から「地球温暖化」は、全世界でその約6割は二酸化炭素が原因であり、わが国では9割にも達していることから<sup>35)</sup>、ここでは地球環境指標としてCO<sub>2</sub>を用いた。「森林の減少・劣化」、「土壌劣化・砂漠化」については、河川流域指標として流域内の森林と農地面積にかかる自然緑地指標に、また「生物多様性の減少」についても活動の場の問題として自然緑地指標に含まれるものとした。「水資源の安定的利用の困難化」は、渇水リスクとして水道指標に含めることにした。「エネルギー資源の枯渇」は、エネルギー消費量を指標とした。



### 2-4-3 河川・流域(健全な水循環の形成)

「健全な水循環系とは、流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下にともに確保されている状態。」と定義されており、今日の水循環系の問題点ごとの主な要因として、通常時の河川流量の減少、水需給の逼迫、渇水の頻発、渇水被害ポテンシャルの増大、都市型水害の多発、洪水被害ポテンシャルの増大、非常時の用水確保の困難化、水質汚濁の進行と新たな水質問題の発生、地下水位低下、湧水枯渇、地盤沈下、都市におけるヒートアイランド現象の一因、生態系への悪影響、親水機能の低下、水文化の喪失、が挙げられている。

これらを基に、表2-4-6(1)に示すように 河川指標として平常時流量、洪水流量、河川水質、河川自然度、水辺への接近度、流域指標として流域自然度、湖沼等の水面を設定した。

### 2-4-4 水道(安全で安定した水道システムの構築)

水道ビジョンの長期的な政策目標では、今世紀半ばの我が国の水道のあるべき姿として、政策課題別に 安心(すべての国民が安心しておいしく飲める水道水の供給)、安定(いつでもどこでも安定的に生活用水を確保)、持続(地域特性にあった運営基盤の強化等)、環境(環境保全への貢献)、国際(我が国の経験の海外移転による国際貢献)の5つの目標を掲げている。

これらを基に、安心して飲める水道として、安全性指標(発がん、クリプトスポリウム、非飲用費用、水源水質事故)。安定的な生活用水の確保を示すものとして、安定性指標(渇水、平常時事故、地震断水)。施設効率、経済効率のよい水道システムの構築のためにはライフサイクルコスト(LCC)の低減化が必要として、それを示す LCC 指標。環境保全への貢献として省エネルギー、廃棄物減量化、資源の有効利用等に取り組むための指標として CO<sub>2</sub> 排出量とエネルギー消費量を地球環境指標として用いる。の国際については、水道システムには直接関係しないためここでは評価項目から省いた。

### 2-4-5 下水道(循環のみちの形成)

国土交通省が2005に示した「下水道ビジョン2100」では、基本コンセプトを「循環のみち」とし、21世紀型下水道は、これまでの下水道機能の整備に加え、今後の都市の持続的発展に貢献する健全な水環境と資源循環を創出するものとし、「水のみち」「資源のみち」「施設再生」の3つの方針を掲げている。「水のみち」では、水が本来もっている様々な機能を活かす水循環の健全化を図るため、水再生・利活用ネットワークの創出、「資源のみち」では、将来の資源枯渇への対応や地球温暖化の防止に向けた資源回収や資源供給ネットワークの創出、「施設再生」では、水のみち、資源のみちの実現を支え、新たな社会ニーズに応えるサステナブルな下水道の構築としている。

表 2-4-6(1)に示すように、これらの中で「水のみち」では河川水質、平常時流量、「資源のみち」ではCO<sub>2</sub>、エネルギー消費量、施設再生に関しては下水道のLCCを評価項目とすることとした。なお、資源のみちでは、発生汚泥の処理も大きな課題となっているが、今回は給排水システムを中心とした評価を目的とすることから項目から除外した。

#### 2-4-6 総合評価指標

表 2-4-6(1)、図 2-4-6(2)に示すとおり、地球環境6項目、水循環8項目、上水道5項目、下水道3項目の計 22 項目の課題から関連するものについて、地球環境指標2項目、河川・流域指標7項目、水道指標6項目、LCC指標1項目合わせて計16項目の個別指標を抽出した。それらすべてを金銭価値で評価し、合計して統合したものが流域の水循環に対する河川、湖沼を含む上下水道施設などの水資産の健全度を示すものとして「流域水資産健全度指数」(域水指数)とし、これを次世代へ向けての望ましい上下水道システムの総合評価指標とした。さらに、流域指標を一つの環境容量(流域の水環境容量)と考え、河川指標、水道指標、地球環境指標とこの流域指標の合計値を「流域水環境健全度指数」(域水環境指数)とし、これを一つの制約条件として設定した(図 2-4-6(2)参照)。以上のように次世代へ向けての新たな上下水道システムの評価は、図 2-4-6(1)に示すように、総合評価指標として「域水指数」と制約条件としての「域水環境指数」の2つの視点から行うこととした。

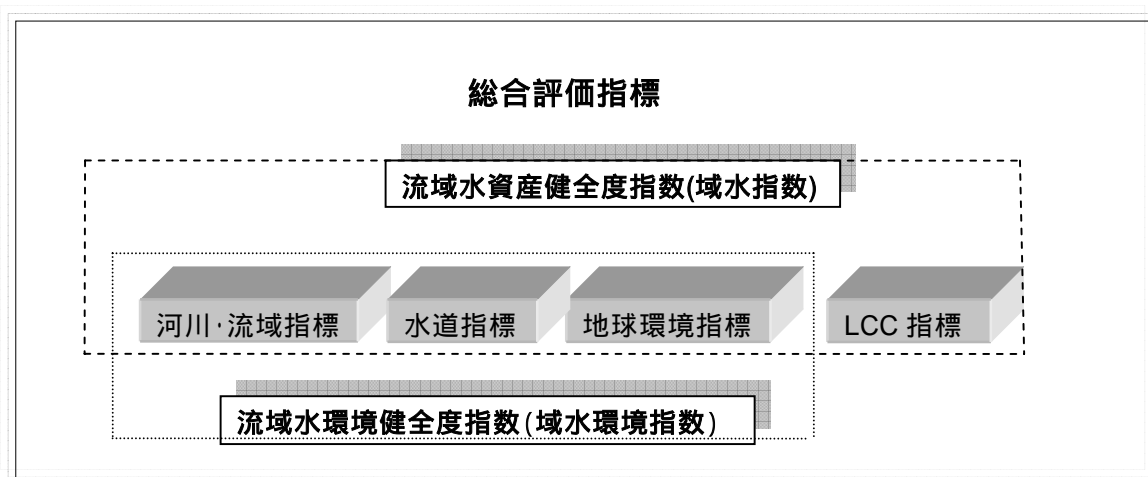


図 2-4-6(1) 評価指標の構成図

表 2-4-6(1) 評価項目と評価指標一覧表

	評価項目	地球環境指標	河川・流域指標	水道指標	LCC 指標
地球環境	地球温暖化	CO <sub>2</sub> 排出量			
	森林の減少		自然緑地		
	土壌劣化砂漠化		(自然緑地)		
	生物多様性の減少		(自然緑地)		
	水資源の不足			渇水被害	
	エネルギー資源の枯渇	エネルギー消費量			
水循環	通常時の河川流量の減少		平常時流量		
	洪水被害ポテンシャルの増大		洪水被害		
	非常時用水確保の困難化			渇水被害	
	水質問題の発生		河川水質		
	地下水位低下		平常時流量		
	ヒートアイランド現象		(湖沼等水面積)		
	生態系への悪影響		河川自然度		
	親水機能の低下		河川への接近度		
水道	安心			安全性	
	安定			安定性	
	持続				LCC
	環境	CO <sub>2</sub> 、エネルギー			
	国際				
下水道	水のみち		河川水質、流量		
	資源のみち	CO <sub>2</sub> 、エネルギー			
	施設再生				LCC

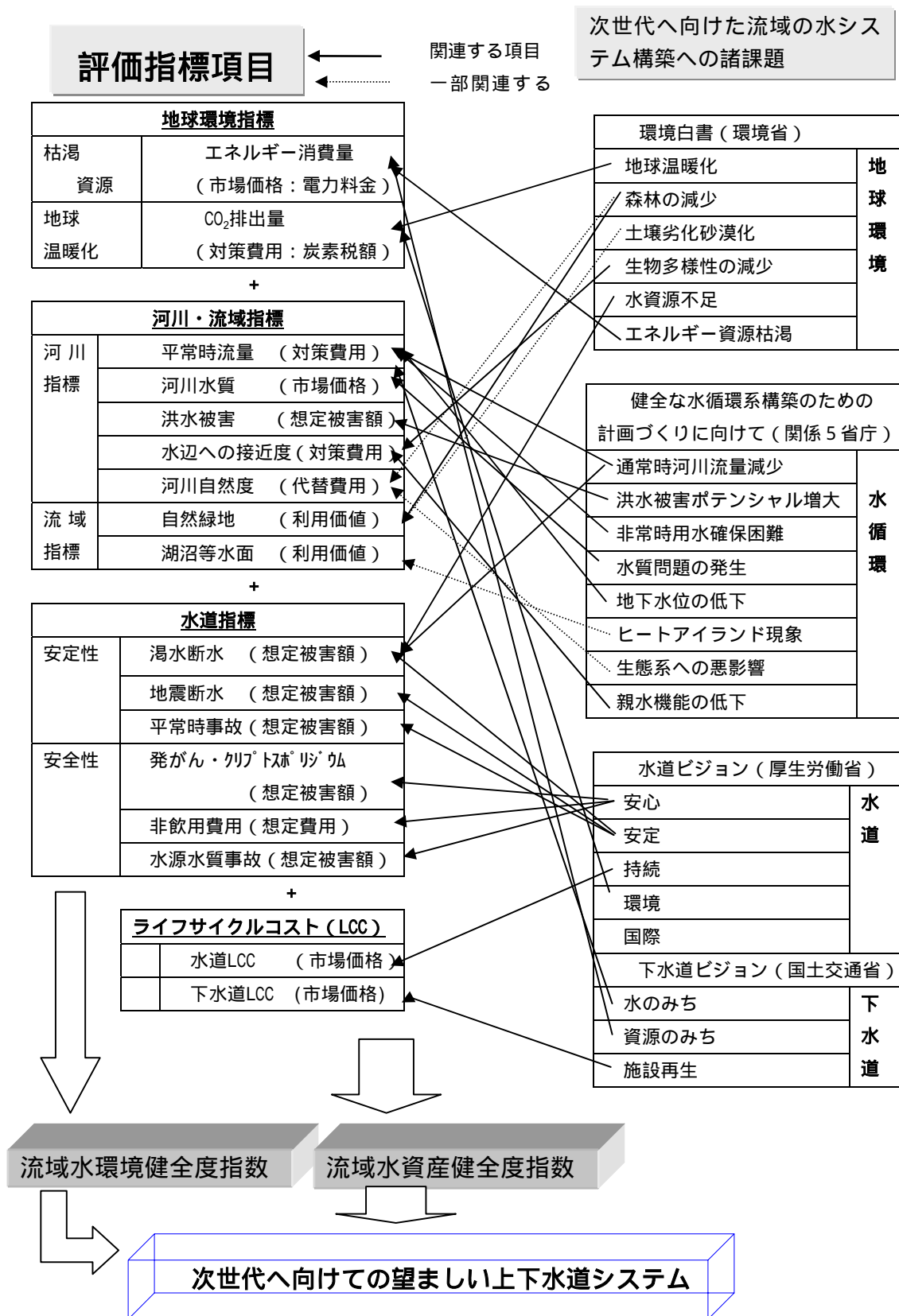


図 2-4-6(2) 評価項目と次世代へ向けての上下水道システムの総合評価手法

## 2-5 貨幣評価手法

### 2-5-1 河川流域指標

平常時流量に関する経済評価については、環境用水の確保をはじめこれまで種々の研究がなされており、これらには仮想評価法と代替法を用いる事例が多い。

例えば、玉井ら<sup>36)</sup>は、CVMを用いて環境用水の便益評価を行い、河川の維持流量確保への支払意思額として中央値で10,985円/年/世帯を得ている。和田ら<sup>37)</sup>は、CVMにより下水処理水を活用した修景水路の支払い意思額の調査を行い一人当たり195円/月を得ている。また、山縣ら<sup>38)</sup>はコンジョイント分析を用いて下水処理水を活用したせせらぎ水路の便益評価を行い、年間に生態系保全に4,419円/世帯、親水性の確保に1,375円/世帯、景観の確保に4,094円/世帯、ホタルの育成に918円/世帯の便益があるとして、地域全体で1.5億円/年の便益をもたらすと評価している。林野庁マニュアル<sup>39)</sup>では、利水ダムの年間減価償却費と確保流量から16.3億円/m<sup>3</sup>/sとしている。仮想評価法では、世帯あたりの支払い意思額を求めるため、評価対象となる世帯の絞込みが難しく、また流量との関係性を評価しにくい。また、仮想評価法で求められる価値は真の価値ではなくあくまで現段階で人々が意識している価値である。評価対象の財やサービス(とくに自然環境)はまだ人々の意識にのぼっていない潜在的な価値を有する可能性もある。また人々の意識は地域の事情や時代の雰囲気大きく規定されるとされているため、ここでは、水源開発施設による代替費用を用いた。

河川水質に関しては、河川環境整備や下水の高度処理、浄化施設河川環境対策の効果評価として多くの研究がある。田口ら<sup>40)</sup>は、矢作川における河川環境整備にともなうCVMとコンジョイント法で受益と費用を分析し、BOD 1mg/Lの改善に対する支払い意思額として平均8,448円/世帯/年を得ている。肥田野<sup>41)</sup>は、ヘドニック法により水質と地価の関係から水質(BOD1mg/L減少)に対して地価+0.71%(75万円/m<sup>2</sup> 世田谷区)、+0.46%(17万円/m<sup>2</sup> 札幌市)、平均+0.6%を得ている。また、稲葉ら<sup>42)</sup>は、東京湾、伊勢湾において、水質改善値当たりのWTP(支払意思額)を調査し、それぞれ3,362円/年/人(COD 3.4 2.4mg/L)、7,153円/年/人(COD 3.3 2.3mg/L)を得ている。中島ら<sup>43)</sup>は、琵琶湖のマザーレーク21の対策費から、排出権取引による削減量の最適配置を行った上で、TN、TPをCODに換算した水質保全原単位を3,130円/(T-COD)kgと算定している。また、国土交通省では海岸環境保全便益の算定マニュアルで<sup>44)</sup>、下水道によるCODの処理費用を算定し、5,584(円/kgCOD)を示している。これらの手法のうち、仮想評価法では、平常時流量の評価と同様、費用化に必要な影響範囲の特定がしづらいことから、ここではこれらの評価値を参考にし、現在、わが国では使用用途別に水質が異なること、また、この水質に応じて水の価格が設定されていることに鑑み、これらの単価を基に水質の価値を算定した。

洪水流量に関する金銭評価は治水対策効果の算定で用いられている年間平均被害軽減額や治水ダムの単位流量調節量当たりの年間減価償却費用を用いる方法がある。ここでは、流域の被害リスクを指標とするため前者を用いることとした。

河川接近度・自然指標においては、田中ら<sup>45)</sup>は、「次世代に現在の環境価値を受け渡す「持続可能な開発」を実現するためには、「代償ミチゲーション」は不可欠な政策である。日本の気候であればどんな土地でも数百年たてば自然生態系に戻る。しかしそのための土地が確保されていなければ何も起こ

らない。「代替ミチゲーション」は自然復元の「質」的な面よりも「土地の確保」に重点を置くべきだ」として  
いることから「代替ミチゲーション」費用として本来の自然河川として必要な用地を確保する費用を用い  
た。これに関して、個人的選好の権威の尊重、合理的行動を前提にした経済理論との整合などから貨幣  
評価法として再生費用などを用いる限界を指摘し、「表明選好評価法であるCVM手法などを重視す  
べき」との意見もある。しかし、一方では「CVM手法などの選好依存型がアンケートによっている以上、  
現時点における民意は反映できても、時代の価値を先取りしうる先行指標には、多くの場合、残念なが  
らなり得ない。」という指摘もあり、本研究では、生態系を含む環境評価にあたっては、現時点の個人の  
選好とは独立した普遍的な評価が必要であり、従来の生態系回復のための代替え地の確保は、質的  
な問題はあるにしても将来世代のためにも実施されるべき永遠の課題であり、そのための費用で評価  
することの妥当性もあると考えたものである。

自然緑地に関する金銭評価は、農林分野で種々研究がなされており、ここでは、代替法や CVM で  
評価された森林や農地の多目的機能価値の中で、洪水調節や河川流量確保など河川指標と重複す  
る項目を除いた機能価値を用いた。湖沼等水面についても、多くの研究があるが、面積と水質とを関連  
付けたものはなく、一般化した指標には利用できないため、ここでは農地の健康保健機能評価に水質  
を加味した価値を用いた。

### 2-5-2 水道指標

安定性(渇水被害、平常時管路事故、地震断水)と安全性の水源水質事故については、水道事業  
の費用対効果マニュアルを基に、これらの発生により想定される断水等の被害額を用いた。

安全性の発がんやクリプトスポリジウムリスクに関しては、水道水の飲用等に起因して発生するがんや  
下痢等の被害リスクを WHO や世界銀行が世界の疾病負担の総合的な指標として1993年に公表し、  
各種保健政策の優位性の合理的な決定に有用なものとして注目されている DALYs(障害調整生存年  
数)とその原単位を用いて金銭化した。

### 2-5-3 地球環境指標

CO<sub>2</sub> については、その金銭評価法として、a 地球温暖化による被害額、b 取引額、c 除外費用額、d  
炭素税額等の使用が考えられるが、既往の研究や資料では a は3,000円/t-CO<sub>2</sub><sup>46)</sup>、b は2,220円  
/t-CO<sub>2</sub><sup>47)</sup>、c は7,300円/t-CO<sub>2</sub><sup>48)</sup>、d は30,000円/t-C<sup>49)</sup>などが報告されている。地球温暖化に関し  
てはその影響の不確定性が非常に大きく、現在想定される被害額での評価には危険性を有しているた  
め、ここでは被害対策や被害予防的な意味合いが強いdの炭素税額を用いる。

エネルギーについては、原油や天然ガス、電力の市場価格、太陽光発電費用、バイオエネルギー価  
格を用いる方法があるが、エントロピー的な視点からエネルギーにはその量とともにその質が重要であ  
ることから最も質の高いエネルギー源の一つである電力の市場価格を用いた。将来の化石エネルギー  
資源の枯渇を考慮してバイオマスや太陽光発電費用を用いることも考えられるが、今後の技術革新等  
によりこれらの価格はさらに低下が予想されることと世代間の衡平性を加味して現時点での電力の市場  
価格を用いることとした。

#### 2-5-4 ライフサイクルコスト(LCC)

LCC については、価格評価時点を現時点に固定し、割引率については、比較的近い時期に生ずる通常の費用や便益と異なり、遠い将来の便益や費用を現在価値に変換すると、これは極端に小さくなことや環境の普遍性、非市場性や世代間の公平等を考慮してここではゼロと設定した。

### 2-6 指標の独立性と重複性

評価指標の選定に当たっては網羅性ととも項目間の独立性や重複性にも配慮する必要がある。国の公共事業評価の基本的考え方においては、「事業の特性や事業実施による多様な効果・影響を勘案しつつ、各評価項目間の独立性（B / C の便益計測項目との重複、評価項目間の類似性など）に留意し、評価する項目として可能な限りもれのないように設定する。これは評価値の総合化に当たって、二重計上を避けるとともに、多様な効果を可能な限り考慮するためである。しかしながら、現実的には評価項目間の独立性が必ずしも明確に出来ない場合が考えられるが、説明のし易さや評価項目の持つ重要性を考慮し、それぞれの評価項目を取り入れることもあり得る。この場合は、その項目を採用した理由を明示する。」<sup>26)</sup>とされている。今回選定した指標間の独立性と重複性に関しては、以下の点を配慮した。

#### 2-6-1 河川流域指標

河川指標における平常時流量指標と水質指標に関しては、水質は、負荷量と流量の比で与えられることから流量と関連することになるが、量と質に関するものであり評価する事項は異なること。また洪水被害指標と平常時流量指標も土地利用で関連するが影響対象が異なることから指標の重複性はないとした。接近度と河川自然度についても、用地確保の点からの関連も考えられるが、評価対象が親水性の確保と生態系の保全と異なることから重複性はないとした。

流域指標に関しては、自然緑地指標となる森林や農地、また湖沼等には洪水調節や水源涵養など多面的な機能があり、これらの効果を含めて評価すると土地利用と関連する河川の平常時流量や洪水指標と重複することから、これらの指標化に当たっては、森林や農地の多面的機能評価の内訳で示されている重複部分を差し引くこととした。

#### 2-6-2 水道指標

渇水指標と平常時流量指標は降雨に関連するが、渇水は生活や産業活動への被害であり、平常時流量は魚類や日常の親水活動への影響であり被害の対象が異なること、地震被害指標と平常時事故被害指標も配水管路の性状に関連するが、発生時期が異なることから重複はないとした。

#### 2-6-3 地球環境指標

エネルギー消費量はCO<sub>2</sub>排出量と関連するが、前者は資源の枯渇が与える損失を問題としており、後者は地球温暖化に与える負の影響を取り上げていることから評価の重複はないとした。

#### 2-6-4 LCC指標

ライフサイクルコストの中で運用に関するものは、大半が電力であり、電力の市場価格で評価するエネルギー消費とは重複することになる。このためLCCの評価に関しては、地球環境のエネルギー評価分を差し引いて評価することとした。

### 2-7 結 語

本章では、次世代へ向けての上下水道システムを評価するため、地球環境、水循環、上下水道に関する課題等を基に、(1)地球環境指標としてCO<sub>2</sub>、エネルギー、(2)河川流域指標として河川指標(平常時流量、洪水被害、河川水質)、流域指標(自然緑地、湖沼等水面)、(3)水道指標として安定性(渇水、事故、地震)、安全性(発がん・クリプトスポリジウム、非飲用、水源水質事故)、(4)ライフサイクルコスト指標として上下水道のLCCの4分野で合計16項目を個別指標として選定し、これらを全て金銭で評価して統合する「流域水資産健全度指数」(域水指数)という総合評価指標を構築した。また河川指標、水道指標、地球環境指標と流域指標の合計を「流域水環境健全度指数」(域水環境指数)とし、これを一つの制約条件として設定した。



## 第2章 参考文献

- 1) 環境省:21 世紀環境立国戦略,p.4,2007.
- 2) 福島武彦:持続可能性(Sustainability)の要件,環境科学会誌 VOL.19,No5,p.415-424,2006.
- 3) 環境庁:環境白書 H14 版,2002.
- 4) 環境省中央環境審議会:21 世紀環境立国戦略特別部会第 10 回参考資料,p.16-17,2007.
- 5) 村上一真:環境と開発の政治経済学,多賀出版,p.32-33,p98-100,2007.
- 6) 植村和弘,淡路剛久,長谷川公一,川本隆史:持続可能な発展, p.324-334, 有斐閣,2005.
- 7) 環境省:総合的環境指標について 環境基本計画における指標のあり方に関する調査検討会資料,2007.
- 8) 東京大学持続型社会研究協議会:持続可能型社会へ向かうエネルギービジョン(改訂版),2005.
- 9) 環境省:21 世紀環境立国戦略,p.2-4,2007.
- 10) ジャパン・フォー・サステナビリティ:JFS 指標(Indicators of Japan for Sustainability),2005.
- 11) 「2050 日本低炭素社会」プロジェクトチーム:2050 日本低炭素社会シナリオ温室効果ガス 70%削減可能性検討,2007.
- 12) 多田博之:持続可能な日本のビジョンと指標についての研究,千葉大学 公共研究,Vol. 2 ,No 3,2005.
- 13) サステナビリティの科学的基礎に関する調査プロジェクト:サステナビリティの科学的基礎に関する調査報告書,2006.
- 14) 井村秀文:人間活動による環境負荷の評価と指標化,環境科学会誌 VOL.18,No4,p.444,2005.
- 15) Mathis Wackergel&William E.Rees・和田喜彦監訳:エコロジカルフットプリント,p.86, 合同出版,2004.
- 16) 環境経済政策学会編(佐和隆光監修):環境経済政策学の基礎知識, p.138, 有斐閣,2006
- 17) 日本計画行政学会編(著者代表内藤正明,森田恒幸):環境指標の展開,計画行政叢書 8, p.3-8, 学陽書房,1995.
- 18) 環境省:総合的環境指標について 環境基本計画における指標のあり方に関する調査検討会参考資料,2006.
- 19) 産業技術総合研究所: LCA のケーススタディ(三重県、千葉県、岩手県における LCA 手法の研究開発),2005.
- 20) 日本水道協会:水道事業ガイドライン(JWWA Q100),2007.
- 21) M.Ham,S.Kim:Local water independency ratio (LWIR) as an index to define the sustainability of major cities in Asia,Water Supply VOL 7 No4,p.1-8, 2007.
- 22) 氏原岳人,谷口守,古米弘明,小野芳朗:ウォーターサプライ・フットプリント指標を用いた都市活動配置評価 - 水利用・循環の視点から地区整備を考える -, 環境システム研究論文集 VOL.34,p.507-513,2006.
- 23) 多田律夫,三浦浩之,和田安彦他:分散型水供給システムのエコデザインによる評価,環境システム研究論文集, VOL.28,p.201-206,2000.
- 24) 靄巻峰夫:水環境関連分野での LCA 適用の試み,水環境学会誌,VOL.23 ,No.2,2000.

- 25) 近藤博幸,藤原正弘,中村洋,滝沢智:浄水施設を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究、全国水道研究発表会講演集,p.84-85,2007.
- 26) 秋永薫児,柏谷衛:LCC 及び LC-CO<sub>2</sub> による污水収集システムの評価に関する研究,土木学会論文集,No685/ -20,p.49-68,2001.
- 27) 植田和弘,落合仁司,北畠佳房,寺西俊一:環境経済学, p.20-120, 有斐閣,1991.
- 28) 鷲田豊明:環境評価入門, p.87-93, 勁草書房, 2002.
- 29) 国土交通省公共事業評価システム研究会:公共事業評価の基本的考え方,2002.
- 30) 倉阪秀央:経済学ロジックの落とし穴,経済セミナー ,No604,p.35,2005.
- 31) 厚生労働省:水道ビジョン,2002.
- 32) 環境庁:環境白書 H12 版,2000.
- 33) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議:健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて,2003.
- 34) 国土交通省:下水道ビジョン「循環のみち」,2005.
- 35) 資源エネルギー庁:エネルギー白書 H15 版,2007.
- 36) 玉井信行,白川直樹:仮想市場法を用いた環境用水の便益評価について,水環境学会誌 VOL.23,No.8,p.462-465,2000.
- 37) 和田安彦,三木康博,尾崎平:下水処理水を活用した水辺空間の価値評価に関する研究,環境システム研究論文集,VOL 34, p.569-574,2006.
- 38) 山縣弘樹,山中大輔,荒谷裕介,南山瑞彦:コンジョイント分析を用いた下水処理水によるせせらぎ水路の多面的便益の評価,環境システム研究論文集,VOL.35,p.287-294, 2007.
- 39) 林野庁:公共事業における事前評価マニュアル(参考単価表),p.7,2002.
- 40) 田口誠,盛岡通,藤田壮:矢作川における河川環境整備にともなう受益構造と費用負担の衡平性問題,環境システム研究論文集,VOL.28,p.459-466,2000.
- 41) 環境経済政策学会編:環境経済政策学の基礎知識, p.191, 有斐閣,2006.
- 42) 稲葉陸太,花木啓祐,荒巻俊也,中谷準:諏訪湖水環境改善効果と対策に伴う地球環境への影響の費用便益換算による統合評価, 環境システム研究論文, VOL.29,p.37-45,2001.
- 43) 中島英一郎,山下洋正,中島智史:下水高度処理の評価手法に関する調査,土木研究所下水道関係調査研究年次報告集,p.99-104,2002.
- 44) 国土交通省:海岸環境保全便益の算定マニュアル,2004.
- 45) 日本大学「環境」と資源の安全保障プロジェクトチーム:環境と資源の安全保障47の提言, p.40,2003.
- 46) Nicholas Stern:The Economics of Climate Change Executive Summary,p.17,2006.
- 47) 生田孝史:急拡大する排出権市場-排出権市場を牽引する欧州,Economic Review, VOL.12,No2,p.116-117,2008.
- 48) Shigeo Murai:Developments on the Implementation of CCS in Japan, CCS Workshop, 2007.
- 49) 環境庁:地球温暖化システム検討会第2次中間報告書, 1994.

### 第3章 評価指標の設定

本章では、総合評価指標算定の基本となる16項目の個別指標について、金銭で評価するための指標設定の考え方とその根拠を示した。

#### 3-1 河川流域指標

健全な水循環系構築に関する省庁連絡会議の報告<sup>1)</sup>において、今日の水循環系の問題点として挙げられた要因より、河川指標5項目、流域指標2項目を選定した。

##### 3-1-1 河川指標

河川状況を示す指標として、「今後の河川水質管理の指標について(案)」<sup>2)</sup>等を参考に、平常時流量、洪水被害、河川水質(COD)、河川自然度、水辺への近接度とした。

##### (1) 平常時流量指標

河川の流況を示す指標には、豊、平、低、渇水流量等があるが、ここでは平常時に住民が接する機会を考慮して年間に185日下回らない流量である平水流量を用いた。

平常時流量の算定式

河川流量の計算手法については、その目的用途により種々提案されているが、今回は地球環境というマクロで長期的な視点を重視し、年間値を基に評価することから、次式(3-1-1(1))で示す水収支法を用いた。

$$Q_0 = A \times (R - E) \times \frac{1}{0.365} - Q_f - Q_{out} + Q_{in} \quad \dots\dots 3-1-1(1)$$

ここで、

$Q_0$  : 平常時の流量(平水流量)( $\text{m}^3/\text{日}$ )

$Q_f$  : 降雨(表面)流出流量( $\text{m}^3/\text{日}$ )

$$(Q_f = f \times A \times (R - E) \times \frac{1}{0.365})$$

$A$  : 流域面積( $\text{km}^2$ )、 $f$  : 降雨(表面)流出率、 $R$  : 年間降雨量( $\text{mm}/\text{年}$ )、 $E$  : 年間蒸発散量( $\text{mm}/\text{年}$ )

$Q_{out}$  : 河川からの取水量 + 地下水等の下水道への漏出量( $\text{m}^3/\text{日}$ )

表 3-1-1(1) 気温と蒸発散能の関係

月	Do	$t_j$	Ep
1	0.843	5.8	0.256799
2	0.908	5.9	0.285103
3	0.993	9	0.658691
4	1.081	14.8	1.730478
5	1.156	19.4	2.9887
6	1.194	23.2	4.237648
7	1.177	27.2	5.536706
8	1.114	28.4	5.656773
9	1.031	24.4	4.001024
10	0.942	18.1	2.153882
11	0.865	13.2	1.130708
12	0.824	8.3	0.473562
平均	1.011	16.5	2.42584
年間			885.4

$Q_{in}$ :生活排水等流入量+水道漏水量+下水処理水還流量( $m^3$ /日)

なお、下水道への漏出量は、下水処理場に流入する汚水流量と水道使用量分(有収水量)の差とし、モデル計算では、対象流域の実績<sup>3)</sup>より下水処理量の10%とした。

生活排水等の流入量は、生活・業務営業用等の水道使用水の内下水道未整備地区からの河川への流入量を表す。下水処理水還流量は、下水処理場で処理した水を再び河川に還流させる流量である。

蒸発量Eについては、Thorntwaiteの式を用い、月ごとの平均気温・加照時間から算出した蒸発量を集計して年間蒸発能を求め、地目

毎の抵抗係数<sup>4)</sup>を乗じて地目別の値を求めた。

表 3-1-1(2) 地目別蒸発散量・抵抗係数・流出率

	森林	農地	宅地	水面	道路	その他
蒸発量E(mm)	640	640	160	890	320	530
抵抗係数K <sub>e</sub>	0.72	0.72	0.18	1	0.36	0.6
降雨流出率f	0.3	0.2	0.7	1	0.9	0.5

$E_p$ :日平均蒸発散能(mm/日)

$E_p=0.533D_o(10t_j/J)^a$

$t_j$ :j月の月平均気温( )大阪管区気象台の平年値を用いた。

$J=(t_j/5)^{1.514}$

$a=0.000000675J^3-0.0000771J^2+0.001792J+0.49293$

$D_o$ :可照時間(12時間/日を1とする)

また、降雨流出率fは、これまでの研究成果を基に表3-1-1(2)に示す数値を用いた。

#### 目標流量 $Q_G$ の算定

目標流量 $Q_G$ は、三浦ら<sup>5)</sup>の検討等を参考に、表3-1-1(3)に示す、親水活動の容易さや魚類の生息環境より設定した。平常時の水深h、流速vは、河川の勾配や幅員変化が少ないとして等流式(次式)を用いた。

$v=1/n \times I^{0.5} \times h^{2/3}$

$h=(Q_0 \times n / I^{0.5} \times B^{2/3})^{3/5}$

ここに、v:流速(m/S)、

n:マンニング粗度係数、

h:水深(m)、I:河川勾配、

B:河川幅(m)

表 3-1-1(3) 河川の目標水深と流速

目標項目		水深(m)	流速(m/S)
魚類の生息	コイ・フナ	0.15 - 0.2	0.3
川遊び等の 親水活動レベル	浅くて困難	~ 0.1	
	幼児が遊べる	~ 0.2	~ 0.2
	危険で困難	0.4以上	0.5以上

#### 平常時流量指標 $D_{Q_0}$ の算定

平常時流量指標 $D_{Q_0}$ は、次式で求めた。

$D_{Q_0}=J_{Q_0} \times (Q_G - Q_0)$  3-1-1(2)

ここに $J_{Q_0}$ は、平常時の水量不足に対する被害(マイナス価値)原単位で、これまで大阪府営水道が関与してきた安威川ダム、紀ノ川大堰、丹生ダム、日吉ダム等6事業の水源開発単価<sup>6)</sup>の平均値6.1億円/( $10^6 m^3$ /日)を耐用年数50年で除した1.2億円/年/( $10^6 m^3$ /日)を用いた。

## (2) 河川水質指標

### 評価指標項目

「今後の河川水質管理の指標のあり方について(案)」<sup>2)</sup>においては、河川管理の視点として (a)人と河川の豊かなふれあいの確保、(b)豊かな生態系の確保、(c)利用しやすい水質の確保、(d)下流域や滞留水域に影響の少ない水質の確保が挙げられ、今後の河川水質管理の指標項目(案)として住民との協働による測定項目として、(a)では透視度、河底の感触、水の臭い、(b)では水生生物の生息、また、確保すべき機能を表す項目として(c)では毒性、味覚、(d)では富栄養化に関して COD がそれぞれ指標項目として示されている。さらに、底生生物調査では、全種類数や EPT 値(カゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目の種数の合計)と COD の相関が高いことが示されている。

こうした点も踏まえ、河川の水質評価には一般に BOD が用いられているが、水道水源水質(水質管理目標設定項目)としてはこれまで COD と対応する過マンガン酸カリ消費量が用いられてきたこと、また、農業(水稻)用水の水質基準としても COD が用いられていること、住民参加の点からパック方式など簡易な方法で測定することができること、などの理由に加えて、湖沼等の COD 評価など流域全体の水質との整合性も総合的に勘案して、ここでは河川水質を表す指標として COD を用いることにした。

### 河川水質の算出手法

河川水質の算定には、流出負荷と流出流量の比で求める原単位法<sup>7)</sup>を用い次式で求めた。

$$q_{(COD)} = \frac{L_t}{Q_m} \times 1000 \times f_a \quad \dots\dots\dots 3-1-1(3)$$

ここで、 $q_{(COD)}$  : 河川水質 COD (mg/L)

$Q_m$  : 年間平均流量 (m<sup>3</sup>/日)

$f_a$  : 負荷流達率

$L_t$  : 総流出負荷量 (kg/日)

$L_t = L_p$  (点源負荷量) +  $L_n$  (面源負荷量)

表 3-1-1(4) 生活排水原単位

	合併浄化槽	単独浄化槽	し尿
COD (g/人/日)	8	21(浄化槽4 + 雑排水17)	17 (雑排水)

表 3-1-1(5) 畜産系排水原単位

	牛	豚	馬
COD(g/頭/日)	530	130	700

$L_p$ :生活排水、畜産系排水、産業排水、下水処理水の原単位の合計で、生活排水原単位は、文献<sup>7)</sup>で示された一人 1 日当たりの汚濁負荷量と浄化槽の排出負荷量原単位より、表 3-1-1(4)に示す値を用いた。

また畜産系は、表 3-1-1(5)示す家畜の原単位 (g/頭/日) と飼育頭数より、また、産業排水は表 3-1-1(6)示す業種別原単位 (g/百万円) に出荷額を乗じて求めた。

下水処理水の水質は高度処理の実績より COD 5 mg/L とした。

表 3-1-1(6) 産業排水原単位

(単位:g/百万円)

食料品	繊維	パルプ	化学無機	化学有機	石油石炭	皮革
165	402	1110	218	1578	23	620

$L_n$ : 面源負荷原単位(kg/km<sup>2</sup>/日) × 面積(km<sup>2</sup>)で  
COD の面源負荷流出原単位は、表 3-1-1(7)に示す  
琵琶湖流域の計算で使用されたわが国の既往の  
調査報告値の平均値<sup>8)</sup>を用いた。

表 3-1-1(7) 地目別 COD 面源負荷

流出原単位(単位:kg/km<sup>2</sup>/日)

森林	農地	宅地	水面	道路	その他
28	4.9	39.6	0	39.6	22.25

流出負荷量の流達率 $f$  は、指針<sup>7)</sup>に示された流  
域比流量と流達率の関係(図 3-1-1(1))より、

$$f_{\alpha} = q_{(Q/A)} \times 0.0002 \quad \cdots \cdots 3-1-1(4)$$

とした。ここに、 $q_{(Q/A)}$ : 比流量(m<sup>3</sup>/日/km<sup>2</sup>)

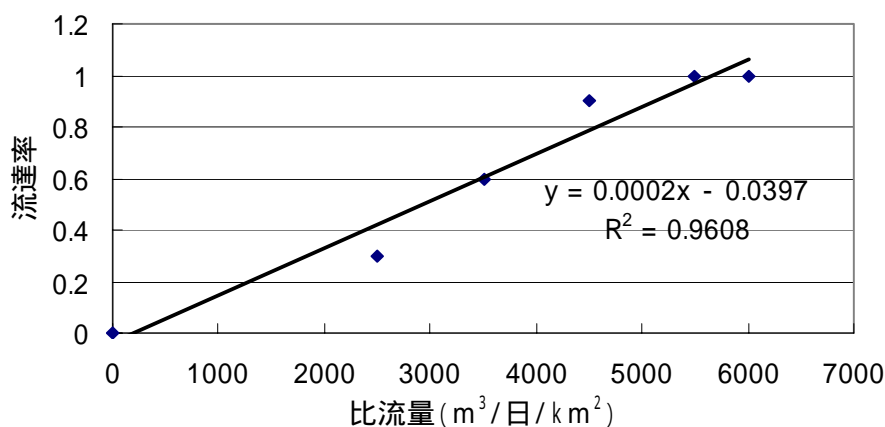


図 3-1-1(1) 流域比流量と流達率

河川水質指標  $D_q$  の算定式

河川水質指標  $D_q$  は次式により算定した。

$$D_q = j_q \times (q_g - q_0) \times Q_0 \quad \cdots 3-1-1(5)$$

ここで、 $q_g$ : 目標水質、 $q_0$ : 河川水質、

$j_q$ : 水質価値原単位

表 3-1-1(8) 農業用水単価算定内訳

算定項目	数値
全国農用地(田 + 普通畑)面積(千 ha)	3760.0
1 アール当たり水利負担額(円/アール/年)	6412.0
全国水利負担額(億円/年)	2410.9
全国農業用水使用量(億 m <sup>3</sup> /年)	557.0
農業用水単価(円/m <sup>3</sup> )	4.3

$j_q$  は河川の水質(COD)が1 mg/L 変化することによる水質価値の変化を示すものである。

水質とその価値に関しては、水道水(100円/m<sup>3</sup>: COD 0.6 mg/L)と農業用水(4 円/m<sup>3</sup>: COD 20mg/L)の単価と水質を用いて次式 3-1-1(6)に示す関係式を求めた。

$$V_y = -4.95 \times q_x + 103 \quad \cdots 3-1-1(6)$$

ここに、 $V_y$ :水質価値(円/m<sup>3</sup>)、 $q_x$ :水質(COD mg/L)

この式から、COD 負荷量1kg当たり約5千円となり、下水道による処理費用から求められた COD 負荷量1kg当たり5584円と同様の値となった(第2章文献<sup>44)</sup>)。

なお、水道水の水質は、大阪府村野浄水場水質実績<sup>9)</sup>を基に設定し、農業用水の単価は、表 3-1-1(8)に示す全国の水利負担額と農業用水使用量より設定した<sup>10),11)</sup>。  
目標水質( $q_g$ )は、COD 2mg/Lとした。

### (3) 流出及び水質モデルの検証

石川、西除川流域(第4章図4-1(1)参照)における過去20年間の年間降雨<sup>12)</sup>、気温<sup>13)</sup>、土地利用<sup>14)</sup>、面源・点源負荷量等<sup>15)</sup>の資料を収集して(図3-1-1(2)、(5)、表3-1-1(9)、(10)参照)、今回の計算モデルを用いて平常時流量と水質を計算し、実測値と比較することによってそれらの妥当性を検討した。

石川の観測値は、最下流部の国土交通省による石川橋の定期観測値を用いた。

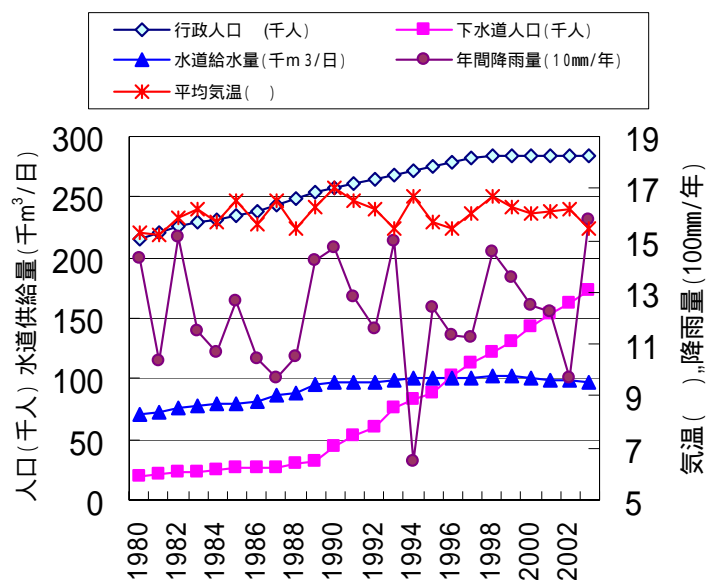


図 3-1-1(2) 石川の流域状況の変化

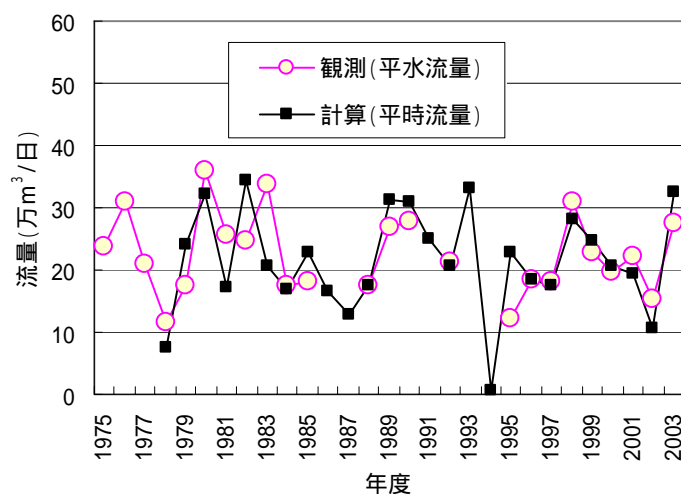


図 3-1-1(3) 石川流量の観測値と計算値

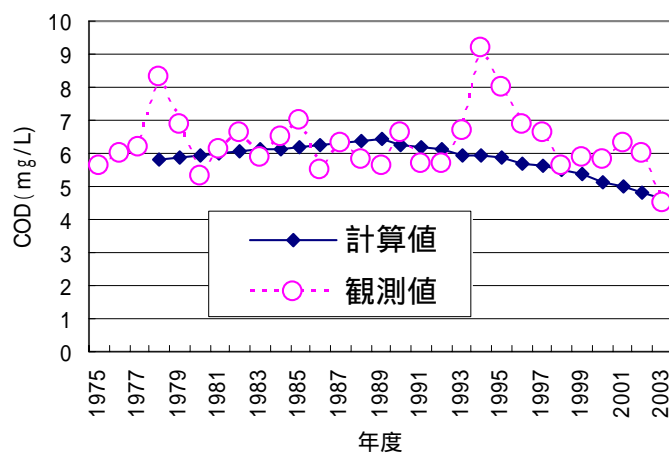


図 3-1-1(4) 石川水質の観測値と計算値

西除川の流量観測値は、大阪府流量観測報告<sup>16)</sup>に記載された布忍橋地点(流域面積 $3.9\text{ km}^2$ )の平水流量値を用いた。計算値は最下流部(流域面積 $4.7\text{ km}^2$ )の計算結果に流域比を乗じた値とした。水質観測値については大阪府域河川等水質調査報告書<sup>17)</sup>に記載された西除川流量観測地点の近傍にある宮橋(第4章図4-1(2)参照)の観測記録を用いた。



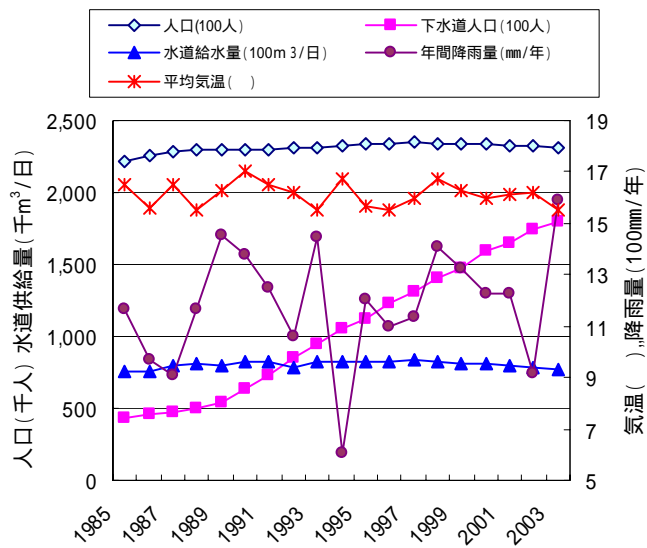


図 3-1-1(5) 西除川の流域状況の変化

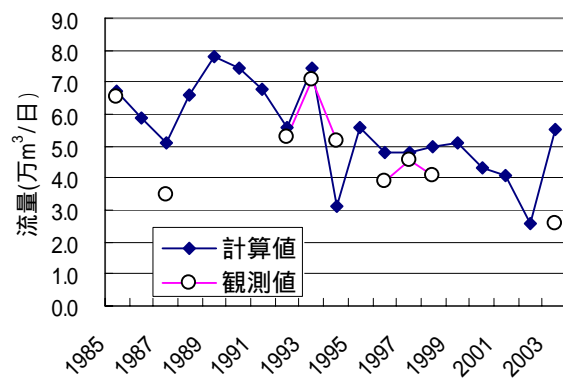


図 3-1-1(6) 西除川流量の観測値と計算値

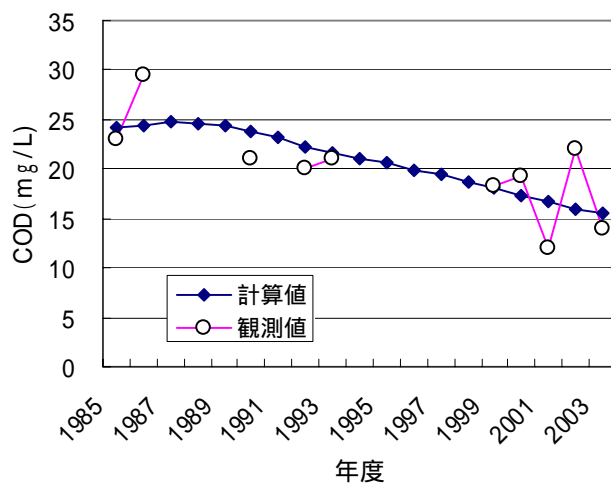


図 3-1-1(7) 西除川水質の観測値と計算値

石川及び西除川における流量、水質の計算結果と観測値を、図 3-1-1(3)、図 3-1-1(4)、図 3-1-1(6)、図 3-1-1(7)示すが、経年的な変化のトレンドがほぼ一致しており、これらのモデルの適応性が確認できた。

表 3-1-1(9) 石川流域状況の推移

年次	人口(人)	下水道人口 (人)	水道給水量 (万 m <sup>3</sup> / 日)	年間降雨量 (mm / 年)	平均気温 ( )
1980	215,608	19,523	6.99	1432	15.3
1981	220,459	21,000	7.25	1036	15.2
1982	225,095	22,205	7.63	1510	15.9
1983	228,855	23,105	7.81	1154	16.2
1984	231,914	24,544	7.89	1070	15.7
1985	235,053	25,630	7.93	1262	16.5
1986	238,732	26,718	8.10	1044	15.6
1987	243,859	27,005	8.61	969	16.5
1988	249,358	29,658	8.86	1053	15.5
1989	253,659	31,121	9.48	1422	16.3
1990	257,095	44,101	9.67	1473	17
1991	261,491	52,541	9.69	1285	16.5
1992	264,728	59,923	9.72	1156	16.2
1993	268,343	75,454	9.86	1495	15.5
1994	272,317	82,061	10.03	652	16.7
1995	275,078	88,951	9.99	1240	15.7
1996	279,106	102,437	10.08	1131	15.5
1997	281,858	112,083	10.13	1123	16
1998	283,517	121,356	10.25	1453	16.7
1999	284,366	130,765	10.24	1356	16.3
2000	284,479	143,033	10.10	1253	16
2001	284,563	152,687	9.95	1226	16.1
2002	284,204	162,383	9.82	973	16.2
2003	283,441	172,727	9.74	1583	15.5

表 3-1-1(10) 西除川流域状況の推移

年次	人口(人)	下水道人口 (人)	水道給水量 (万m <sup>3</sup> /日)	年間降雨量 (mm/年)	平均気温 ( )
1985	222,029	43,140	7.51	1165	16.5
1986	225,544	45,569	7.55	968	15.6
1987	228,345	46,863	7.92	909	16.5
1988	229,681	49,643	8.07	1163	15.5
1989	229,577	54,520	7.92	1451	16.3
1990	230,035	63,461	8.19	1375	17
1991	230,344	72,647	8.27	1251	16.5
1992	230,486	85,218	7.85	1063	16.2
1993	231,330	95,245	8.23	1445	15.5
1994	232,835	105,887	8.28	608	16.7
1995	233,667	111,803	8.20	1206	15.7
1996	234,377	123,634	8.27	1095	15.5
1997	234,536	130,622	8.34	1138	16
1998	234,385	140,616	8.24	1411	16.7
1999	233,814	147,719	8.09	1328	16.3
2000	233,500	158,790	8.06	1226	16
2001	232,790	165,337	7.94	1225	16.1
2002	232,212	174,110	7.79	918	16.2
2003	231,718	179,746	7.65	1589	15.5

### (3)洪水指標

#### 洪水流量の算定式

洪水流量の算定は、広く中小河川計画に用いられている次式に示す合理式を用いた。

$$Q_f = \frac{1}{3.6} \times (f_a \times A_a \times r_a + f_n \times A_n \times r_n) \quad \cdots \cdots 3-1-1(7)$$

ここに、 $f_a = 0.9$ 、 $f_n = 0.6$  :都市域、自然域の洪水流出係数

$A_a, A_n$  :都市域、自然域の流域面積(km<sup>2</sup>)

$r_a, r_n$  :都市域、自然域の洪水到達時間( $t_a, t_n$ )内降雨強度(mm/h)

$t_a, t_n$  : 都市域、自然域の洪水到達時間(min)

洪水到達時間は、土木研究所の式<sup>18)</sup>(3-1-1(8))を用いた。

$$t_a = 1.8 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.7} \quad t_n = 12.6 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.7} \quad \cdots \cdots 3-1-1(8)$$

ここに、 $L$  : 流域長(km)  $I$  : 斜面勾配

降雨強度式は、大阪府流域下水道計画<sup>19)</sup>で用いられているシャーマン型の式(3-1-1(9))を用いた。

$$r(t) = \alpha \times t^{-\beta} \quad \cdots \cdots 3-1-1(9)$$

大阪管区気象台の過去30年(1971-2000)のデータによる年間の時間最大、日最大降雨強度より、各降雨確率に対する  $\alpha, \beta$  を求めた(表3-1-1(11))。

表 3-1-1(11) 降雨の発生確率と降雨

降雨確率	1時間 (mm/h)	1日 (mm/h)		
1/10	53.8	5.7	970	0.706
1/20	60.3	6.4	1085	0.706
1/50	68.7	7.3	1234	0.705
1/100	75.0	7.9	1362	0.708
平均値( $\mu$ )	37.2	4.0	659	0.702

洪水被害度  $D_f$  の算定式

洪水による被害は、河川の治水安全度を超過した洪水が発生したときに生じることから、洪水被害が洪水流量に比例するとすれば、洪水被害度は次式で表せる。

$$D_f = J_f \int_{Q_0}^{\infty} Q \times g(Q) dQ \quad \cdots \cdots 3-1-1(10)$$

ここに、 $J_f$  : 洪水被害原単位(億円/年/ $m^3/s$ )、

$g(Q)$  : 洪水流量  $Q$  の発生確率

$Q_0$  : 河川の流下能力( $m^3/s$ )

一般に  $x$  を対数正規変量としたとき、関係式  $x = e^y$  中の変量  $y$  は、

平均値  $\mu_y$ 、標準偏差  $\sigma_y$  の正規分布  $N(\mu_y, \sigma_y)$  に従うことから、

$$f(x) = \frac{e^{-(\ln(x) - \mu_y)^2 / 2\sigma_y^2}}{x\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \quad \cdots \cdots 3-1-1(11)$$

$$y = \ln(x) \quad \cdots \cdots 3-1-1(12)$$

となる。ここに  $Q$  を合理式で表現し  $x = r = \frac{Q}{f \times A}$ 、 $f \times A = \alpha_{fA}$  とおき

$$Q = f \times A \times r = \alpha_{fA} \times r \quad \cdots \cdots 3-1-1(13)$$

として、各到達時間内の年間最大降雨強度  $r$  が対数正規分布するとし、

表 3-1-1(12) 降雨強度の平均値と標準偏差

	最大降雨強度(mm/h)	
	1時間	1日
平均( $\mu_y$ )	3.58	1.34
標準偏差( $\sigma_y$ )	0.32	0.31

3-1-1(10)、3-1-1(11)式から

$$D_f = J_f \cdot \alpha_{fA}^2 \cdot e^{(\mu_y + \sigma_y^2/2)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} \cdot \int_{y_0}^{\infty} e^{-\frac{(y - (\mu_y + \sigma_y^2/2))^2}{2\sigma_y^2}} dy \quad \cdots 3-1-1(14)$$

が得られる。

ここに、 $\mu_x = e^{(\mu_y + \frac{1}{2}\sigma_y^2)}$  となり、 $\mu_y \gg \sigma_y^2$  とすれば、式 3-1-1(11)より

$$g(Q) = \frac{\alpha_{fA} \times e^{-(\ln(Q/\alpha_{fA}) - \mu_y)^2 / 2\sigma_y^2}}{Q\sqrt{2\pi\sigma_y^2}}$$

$$\frac{\alpha_{fA}}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} \cdot \int_{y_0}^{\infty} e^{-\frac{(y - (\mu_y + \sigma_y^2/2))^2}{2\sigma_y^2}} dy = \int_{Q_0}^{\infty} g(Q)dQ = \omega(Q) = \frac{1}{N_f}$$

となることから、式 3-1-1(14)は

$$D_f = J_f \times \alpha_{fA} \times \mu_x \times \frac{1}{N_f} = J_f \times f \times \mu_x \times \frac{1}{N_f} \quad \cdots 3-1-1(15)$$

となる。ここに  $\omega(Q)$  : 治水安全度、 $N_f$  : リターンペリオドである。

$\mu_x$  は、降雨強度の平均値であるから、表 3-1-1(11)より

$$\mu_x = r(t) = 659 \cdot t^{-0.702} \quad \text{となり、}$$

式 3-1-1(7)、(15)から

$$D_f = J_f \cdot \frac{1}{3.6} \cdot (f_a \times A_a \times r(t_a) + f_n \times A_n \times r(t_n)) \times \frac{1}{N_f} \quad \cdots 3-1-1(16)$$

と表せる。さらに、式 3-1-1(8)と式 3-1-1(9)から、

$$r(t_a) = 436 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{-0.491} \quad r(t_n) = 111 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{-0.491}$$

が得られ、式 3-1-1(16)は

$$D_f = J_f \times \frac{1}{3.6} \times (0.9 \times 436 A_a + 0.6 \times 111 \times A_n) \times \frac{1}{N_f} \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{-0.491} \quad \cdots 3-1-1(17)$$

$$D_f = J_f \times \frac{1}{3.6} \times A \times (392\nu + 66.8(1-\nu)) \times \frac{1}{N_f} \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{-0.491} \quad \cdots 3-1-1(18)$$

となる。

ここに、 $J_f$  : 洪水被害原単位 (億円/m<sup>3</sup>/s)、 $\nu$  : 市街化率、 $\frac{1}{N_f}$  : 河川の治水安全度で

$J_f$  は表3-1-1(13)に示すように西除川上流部にある狭山池ダムの年平均被害軽減額<sup>20)</sup>と洪水調節流量

より  $J_f = 0.1$  (億円/ $\text{m}^3/\text{s}$ )とした。

表3-1-1(13)狭山池ダムの洪水被害軽減額

洪水調節量	年平均洪水被害軽減額	洪水流量当たり被害額
$100\text{m}^3/\text{s}$	850百万円/年	0.1億円/年/ $\text{m}^3/\text{s}$

この洪水被害度 $D_f$ は、流域住民が被る年間被害想定額であり、これは流域での住民の生活にとってマイナス要因であり、これを洪水被害指標とした。

#### (4) 水辺への接近度、河川自然度指標

##### 水辺への接近度指標

水辺への近づき難さを示す指標として、護岸の法面勾配や天端幅員を用い、近づきやすい理想の断面形とするために必要な用地を確保する年間費用を水辺への接近度指標とし次式で算定した。

$$D_{wac} = J_a \cdot \sum \{ (3.0 - I) \cdot hw + (3 - Br) \} \times \Delta L \quad \cdots 3-1-1(19)$$

ここに、 $hw$  : 水面からの高さ (m)、 $I$  : のり面勾配,  $Br$  : 河川側道幅 (m)、 $\Delta L$  : 区間距離 (m)

$J_a$  : 用地単価 (円/ $\text{m}^2$ /年)

##### 河川自然度指標

河川の自然度を示すものとして、板やコンクリートなどの人工構造物で固められた河川に本来の自然河川機能为确保するためには、代替となる新たな用地が必要と考え、その確保費用(年間費用)を河川自然度指標とし、次式で算定した。

$$D_{rn} = J_n \times A_c \quad \cdots 3-1-1(20)$$

ここに、 $A_c$  : 河川敷内に非自然的な構造物が占める面積 ( $\text{m}^2$ )、 $J_n$  : 用地単価 (円/ $\text{m}^2$ /年)

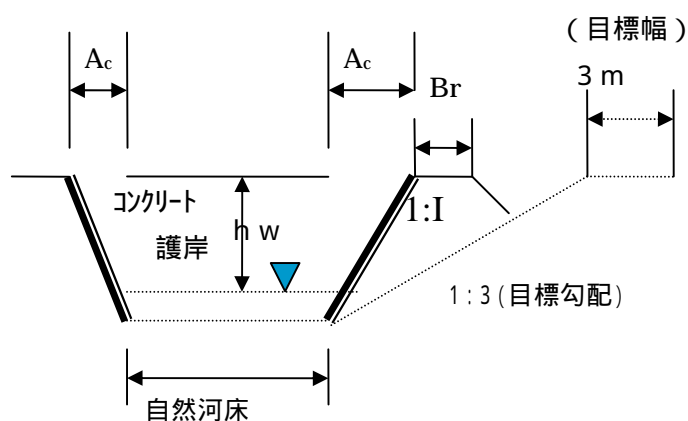


図 3-1-1(7) 河川非自然指標算定模式

### 3-1-2 流域指標

流域指標については、自然休養機能など流域の持つ望ましい環境価値であり、その貨幣価値はプラス(億円/年)で評価される。

#### (1)自然緑地指標

流域の健全度に関する指標としては、流域内の自然域(森林と農地面積)の価値 $N_w$ を取り上げた。年間の単位面積当たりの価値(原単位)は、森林と農地の多目的機能評価<sup>21)</sup>で示された全国の森林と農地の年間価値を、洪水調節等河川指標と重複する評価項目は除き、全国のそれぞれの面積で除して設定した(表3-1-2(1),(2))。

なお表には今回除外した洪水調節等と重複する評価項目を示している。

$$N_w = j_{wy} \times A_w + J_{ay} \times A_a \quad \cdots 3-1-2(1)$$

ここに、 $A_w$  : 森林面積( $\text{km}^2$ )

$A_a$  : 農地面積( $\text{km}^2$ )

$J_{wy}$  : 森林原単位(0.15 億円/ $\text{km}^2$ /年)

$J_{ay}$  : 農地原単位(0.51 億円/ $\text{km}^2$ /年)

#### (2)湖沼等水面指標

湖沼等の水面にも森林や農地と同様に多目的価値があり、水質の良い水面には農地が有するとされる気候緩和や保健休養・安らぎ機能と同様な効用が考えられる。ここでは水質によりその価値が異なることから、次式で表されるものとした。

$$I_w = J_{wa} \times f(q_0) \times A_{wa} \quad \cdots 3-1-2(2)$$

ここに、 $J_{wa}$  : 水面価値原単位(0.51 億円/ $\text{km}^2$ /年)、 $f(q_0)$  : 水質価値指数、 $A_{wa}$  : 水面面積( $\text{km}^2$ )

$q_0$  : 湖沼等の水質(CODmg/L)で、河川水質指標で示した式(3-1-1(6))を用いて、

表 3-1-2(1) 森林の多目的機能

森林の多目的機能	評価額(億円)	選択項目
二酸化炭素吸収	12391	
化石燃料	2261	
表面侵食	282565	(評価外)
表層崩落	84421	"
洪水緩和	64686	(洪水指標)
水資源貯留	87407	(平時流量)
水質浄化	146361	(河川水質)
保健リクリエーション	22256	
計		36908

森林面積 : 2500 万 ha

原単位 : 0.15 億円/ $\text{km}^2$ /年

表 3-1-2(2) 農地の多目的機能

農地の多目的機能	評価額(億円)	選択項目
洪水防止	34988	(洪水指標)
水資源涵養	15170	(平時流量)
土壌浸食防止	3318	(評価外)
土砂崩壊防止	4782	"
有機性廃棄物処理	123	
気候緩和	87	
保健休養・安らぎ	23758	
計		23968

耕地面積 : 470 万 ha

原単位 : 0.51 億円/ $\text{km}^2$ /年

$q_0 = 2mg/L$  で  $f(q_0) = 1$ ,  $q_0 = 20mg/L$  で  $f(q_0) = 0$  とすれば 次式で表される。

$$f(q_0) = (-4.95 \cdot q_0 + 103) / 93.1 \quad \cdots 3-1-2(3)$$

## 3-2 水道指標

### 3-2-1 安定性指標

#### (1) 渇水断水被害指標

河川の渇水被害の算定はこれまで水源開発や河川計画分野で数多くの手法が提案され利用されている。渇水の程度を示すものとして信頼度、回復度、深刻度に重み係数を乗じて足し合わせる DRI (Drought Risk Index) 指標を持ちいる手法や渇水強度を表す指標として水需要量の不足%日数の集計値を用いる手法、渇水持続曲線を利用したものなどがあるが、被害を金銭で表現できるものは少ない。

ここでは、ほとんどの主要な河川で統計指標化されている河川流況(豊水、平水、低水、渇水、最低流量)を利用して、渇水被害の発生確率と制限水量、渇水被害度を基に、断水による被害額を以下のように算定した。

河川流況

河川流況は、降雨特性や流域状況の差によって河川毎に異なるが、淀川(枚方大橋)、石川(石川橋)等の実績(図 3-2-1(1),(2),(3))を参考に、最低流量日(365 日)から豊水流量(95 日)までの日流量の増加割合が一定とすると、n 年渇水年における最大流量日から i 番目の日の流量は次式で表せる(図 3-2-1(4)参照)。

$$Q_n(i) = Q_{n(365)} + (365 + i) \times \frac{Q_{N0(365)} - Q_{n(365)}}{T_{n0}} \quad \cdots 3-2-1(1)$$

ここに、

$Q_n(i)$  : n 年渇水年における最大流量日から i 番目の日の流量 ( $m^3/\text{日}$ )

$Q_{n(365)}$  : n 年渇水年における最低流量 ( $m^3/\text{日}$ )

$Q_{N0(365)}$  : 安定利水水量 (計画対象確率年 N 年の日最低流量 ( $m^3/\text{日}$ ))

$T_{n0}$  : 流量 0 から  $Q_{N0(365)}$  までの回復期間 (日)

1 日当たりの回復流量 (流況) を ( $m^3/s/\text{日}$ )、 $T_{n0} = \frac{Q_{N0}}{\alpha}$  とすると、

$T_{n0}$  は最低流量  $Q_{n(365)}$  の関数  $f(Q_{n(365)})$  で表せる。



### 制限率と制限期間

降雨量が少なく水源となる河川が渇水となると取水制限がかかる事となる。

ここで、 $Q_{N(365)}$  : 取水制限のかからない最低流量 (これは必要取水量に変化がなく、また河川維持流量に変化がなければ  $Q_{N0(365)}$  と等しくなる。)

$r_n(i)$  :  $n$  年渇水年における最大流量日から  $i$  番目の日の制限率

$X_n$  : " 制限期間、 $i_0$  : 制限開始日 - 1 日

とすると

$$r_n(i) = \left(1 - \frac{Q_n(i)}{Q_{N(365)}}\right) \quad \cdots 3-2-1(2)$$

$$X_n = 365 - i_0 \quad \cdots 3-2-1(3)$$

と表せる。

ここで、式 3-2-1(1) より  $Q_n(i_0) = Q_{N(365)}$  とすると  $\cdots 3-2-1(4)$

$$Q_{N(365)} = Q_{n(365)} + (365 - i_0) \times \frac{Q_{N0(365)}}{T_{n0}}$$

$$i_0 = 365 - \frac{Q_{N(365)} - Q_{n(365)}}{Q_{N0(365)}} \times T_{n0} \quad \cdots 3-2-1(5)$$

ここで、 $\frac{Q_{N(365)}}{Q_{N0(365)}} = \gamma$  と置くと 式 3-2-1(2) 式 3-2-1(5)より

$i_0 = 365 - T_{n0} \times r_{n(365)} \times \gamma$ 、制限期間  $X_n$  は

$$X_n = T_{n0} \times \gamma \times r_{n(365)} \quad \cdots 3-2-1(6)$$

となる。

次に完全断水期間  $T0$  は、式 3-2-1(1) より

$$Q_n(i) = Q_{n(365)} + (365 - i_0) \times \frac{Q_{N0(365)}}{T_{n0}} = 0$$

完全断水開始日を  $i_{T0}$  とすると

$$i_{T0} = \frac{Q_{n(365)}}{Q_{N0(365)}} \times T_{n0} + 365 = (1 - r_{n(365)}) \times \gamma \times T_{n0} + 365$$

$$T0 = 365 - i_0 = (r_{n(365)} - 1) \times \gamma \times T_{n0} \quad \cdots 3-2-1(7)$$

となる。

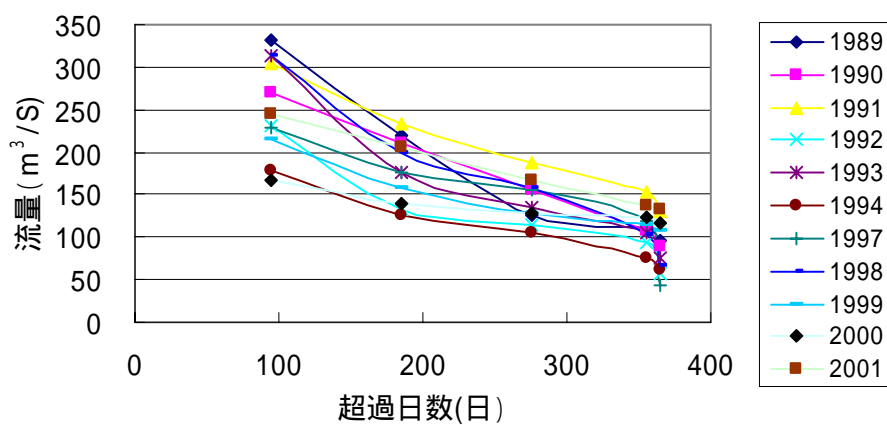


図 3-2-1(1) 淀川(枚方)流況

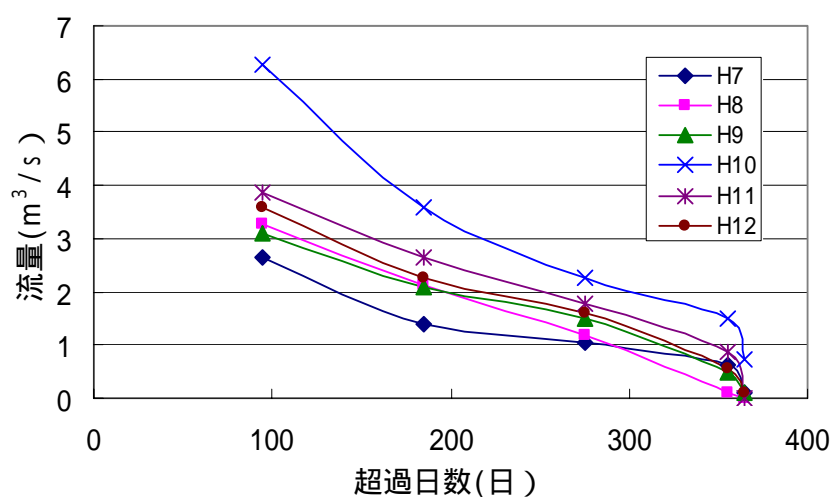


図 3-2-1(2) 石川の流況

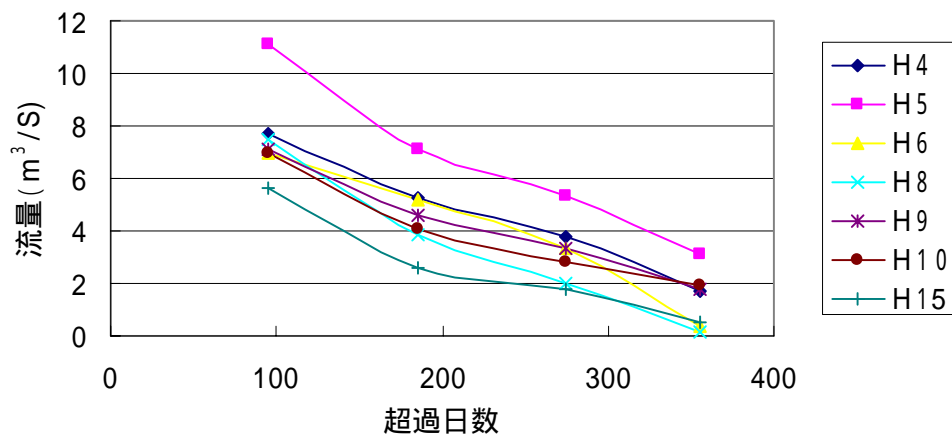
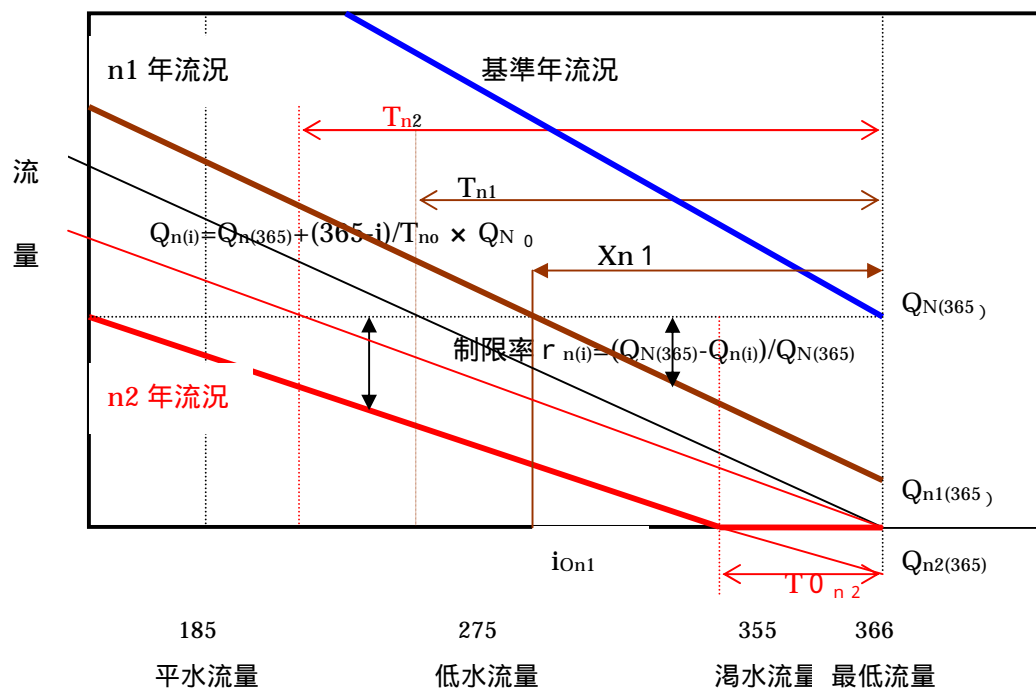


図 3-2-1(3) 西除川の流況



3-2-1(4) 渇水リスク計算模式図

## 渇水被害額

一人一日給水量を  $q$  ( $\text{m}^3 / \text{人} / \text{日}$ ) とすると、水道水の価値  $C(q)$  ( $\text{円} / \text{m}^3$ ) は次式で表せる<sup>22)</sup>。

$$C(q) = a \cdot e^{-b \cdot q} \quad \cdots 3-2-1(8)$$

また、 $q < q_0$  のときの一人一日あたりの被害額 ( $D(q)$ ) は次式となる。

$$D(q) = \frac{a}{b} \cdot (e^{-b \cdot q} - e^{-b \cdot q_0}) \quad \cdots 3-2-1(9)$$

ここに  $q_0$ : 平常時の一人一日給水量 (給水原単位)

ここで、水道水の価値を、平常時給水量  $q_0$  の時 100 円

$/ \text{m}^3$  とし、完全断水による被害額を 33000 円/日/人 とすると  $a$ 、 $b$  の値は表 3-2-1(1) となる。

表 3-2-1(1) 給水量  $q_0$  と  $a, b$  の値

$q_0(\text{m}^3 / \text{人} / \text{日})$	$a$	$b$
0.4	734,665	22.255
0.3	1,014,768	30.75

また、基準年における河川流量に占める取水量  $W_{to}$  の割合を  $\lambda = \frac{W_{to}}{Q_{N0(365)}}$   $\cdots 3-2-1(10)$

給水人口を  $P$  (人) とすると

$n$  年の  $i$  日における一人当たりの給水量は

$$q_n(i) = \frac{\lambda \times Q_{n(i)}}{P} \quad \cdots 3-2-1(11)$$

通常時の水の価値は

$$C(q_0) = a \cdot e^{-b \cdot q_0} = 100 \text{円} / \text{m}^3 \quad \cdots 3-2-1(12)$$

となることから、 $n$  年における給水制限による給水区域の被害額:  $DLp(n)$  は

$$DLp(n) = P \times \sum_{i=i_0+1}^{365} D(q_n(i)) \quad \cdots 3-2-1(13)$$

となり式 3-2-1(1)、(9)、(11)、(12)、(13) より

$$\begin{aligned}
 DLp(n) &= P \times \sum_{i=i_0+1}^{365} \frac{a}{b} \times (e^{-b \times q_n(i)} - e^{-b \times q_0}) \\
 &= P \times \frac{a}{b} \sum_{i=i_0+1}^{365} e^{-\frac{\lambda b}{P} \times \left\{ Q_{n(365)} + \frac{(365-i)}{T_{n0}} \times Q_{N0(365)} \right\}} - P \times \frac{a}{b} \sum_{i=i_0+1}^{365} e^{-\frac{\lambda b}{P} \times Q_{N(365)}} \\
 &= P \times \frac{a}{b} \times e^{-\frac{\lambda b}{P} \times \left\{ Q_{n(365)} + \frac{365}{T_{n0}} \times Q_{N0(365)} \right\}} \times \sum_{i=i_0+1}^{365} e^{-\frac{\lambda b \times \left\{ -Q_{N0(365)} \right\} \times i}{(T_{n0} \times P)}} - P \times 100 \times \frac{Xn}{b} \\
 &\quad \cdots 3-2-1(14)
 \end{aligned}$$

ここで、 $\beta = \frac{-b \times \lambda \times Q_{N0(365)}}{(T_{n0} \times P)}$ とおくと 式 3-2-1(14)は

$$DLp(n) = P \times \frac{a}{b} \times e^{\left\{ -\frac{\lambda b}{P} \times Q_{n(365)} + 365\beta \right\}} \times \sum_{i=i_0+1}^{i=365} e^{-\beta i} - P \times 100 \times \frac{X_n}{b} \quad \dots 3-2-1(15)$$

となる。また、式 3-2-1(5)と

$$\sum_{i=i_0+1}^{365} e^{-\beta i} = \frac{e^{-366\beta} - e^{-(1+i_0)\beta}}{e^{-\beta-1}}$$

$$(i_o + 1) \times \beta = \left( 366 - \gamma \cdot T_{n0} \times r_{n(365)} \right) \times \beta$$

より、式 3-2-1(15)は

$$DLp(n) = P \times \frac{a}{b} \times e^{\left\{ -\frac{\lambda b}{P} \times Q_{n(365)} + 365\beta \right\}} \times \left\{ e^{(-366\beta)} - e^{(-366\beta + T_{n0} \cdot r_{n(365)} \cdot \beta)} \right\} \times \frac{1}{e^{(-\beta-1)}} - P \times 100 \times \frac{X_n}{b}$$

$$DLp(n) = P \times \frac{a}{b} \times \left\{ e^{\left\{ -\frac{\lambda b}{P} Q_{n(365)} - \beta \right\}} - e^{\left\{ -\frac{\lambda b}{P} Q_{n(365)} - \beta + T_{n0} \cdot r_{n(365)} \cdot \gamma \cdot \beta \right\}} \right\} \times \frac{1}{e^{(-\beta-1)}} - P \times 100 \times \frac{X_n}{b}$$

\dots 3-2-1(16)

となる。ここで、式 3-2-1(2)、式 3-2-1(11)および

$$\gamma = \frac{Q_{N(365)}}{Q_{N0(365)}}, \quad \beta = \frac{-b \times \lambda \times Q_{N0(365)}}{(T_{n0} \times P)} = -\frac{b \times q_0}{\gamma \cdot T_{n0}}$$

より、式 3-2-1(16)のカッコ内の第1項は

$$e^{\left( -b \cdot Q_{n(365)} \cdot \frac{\lambda}{P} + b \cdot Q_{N0(365)} \cdot \frac{\lambda}{T_{n0} \cdot P} \right)} = e^{\left( -b \cdot q_0 (Q_{n(365)} / Q_{N(365)}) - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}} \right)} = e^{-b \cdot q_0 \cdot (1 - r_{n(365)}) - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}}} \quad \dots 3-2-1(17)$$

となる。同様に、式 3-2-1(16)のカッコ内の第2項は

$$e^{-b(Q_{n(365)} \cdot \frac{\lambda}{P} - \beta + T_{n0} \cdot r_{n(365)} \cdot \gamma \cdot \beta)} = e^{-b \cdot q_0 \cdot (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}})} \quad \dots 3-2-1(18)$$

となり、式 3-2-1(17)と式 3-2-1(18)より、式 3-2-1(16)は

$$DLp(n) = P \times \frac{a}{b} \times \left\{ e^{-b \cdot q_0 \cdot (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}} - r_{n(365)})} - e^{-b \cdot q_0 \cdot (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}})} \right\} \times \frac{1}{e^{(b \cdot q_0 / (\gamma \cdot T_{n0}) - 1)}} - P \times 100 \times \frac{X_n}{b}$$

$$DLp(n) = P \times \frac{a}{b} \times e^{-b \cdot q_0 (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}})} \times \left\{ e^{b \cdot q_0 \cdot r_{n(365)}} - 1 \right\} \times \frac{1}{e^{(b \cdot q_0 / (\gamma \cdot T_{n0}) - 1)}} - P \times 100 \times \frac{X_n}{b}$$

$X_n = T_{n0} \times \gamma \times r_{n(365)}$  より、一人当たりの年間被害額  $DL(n)$  は

$$DL(n) = \frac{a}{b} \times e^{-b \cdot q_0 (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}})} \times \left\{ e^{b \cdot q_0 \cdot r_{n(365)}} - 1 \right\} \times \frac{1}{e^{(b \cdot q_0 / (\gamma \cdot T_{n0}) - 1)}} - 100 \times r_{n(365)} \cdot \frac{\gamma \cdot T_{n0}}{b} \cdots \cdots 3-2-1(19)$$

となる。

ただし、統計解析上、流量がマイナス ( $Q_{n(365)} < 0$ )、制限率が1を超える ( $r_{n(365)} > 1$ ) のものについては、一人一日当たりの被害  $D(n)$  は、断水率  $r_{n(i)} = 1$  で最大となることから、 $r_{n(i)} > 1$  の場合には、式 3-2-1(9) より

$$D(0) = \frac{a}{b} \cdot \left\{ 1 - e^{-b \cdot q_0} \right\}$$

となり、式 3-2-1(13) は

$$DLp(n) = P \cdot \sum_{i=i_0+1}^{i=T_{n0}} \{D(q_n(i)) - D(q_0)\} + P \cdot \sum_{i=iT_0}^{i=365} \{D(0) - D(q_0)\} \cdots \cdots 3-2-1(20)$$

となる。また、式 3-2-1(7) より、式 3-2-1(20) は次式で表わせる。

$$DLp(n) = P \times \sum_{i=i_0+1}^{365 + (1 - r_{n(365)}) \cdot T_{n0} \cdot \gamma} \{D(q_n(i)) - D(q_0)\} + P \cdot \left( \frac{a}{b} - \frac{100}{b} \right) \cdot \left( r_{n(365)} - 1 \right) \cdot T_{n0} \cdot \gamma \cdots \cdots 3-2-1(21)$$

この式を式 3-2-1(19) と同様の手法で展開すれば次式となる。

$$DL(n) = \frac{a}{b} \times e^{-b \cdot q_0 (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}})} \times \left\{ e^{b \cdot q_0} - 1 \right\} \times \frac{1}{e^{(b \cdot q_0 / (\gamma \cdot T_{n0}) - 1)}} - 100 \cdot \gamma \cdot \frac{T_{n0}}{b} + \left( \frac{a - 100}{b} \right) (r_{n(365)} - 1) \cdot \gamma \cdot T_{n0} \cdots \cdots 3-2-1(22)$$

また、河川流況から豊水流量  $Q_{n(95)}$  から最大流量  $Q_{n(1)}$  まで急速に流量が増加すること。

淀川の過去の取水制限期間は 250 日以内であることから、給水制限期間の最大値は 271 日とした。

これにより、取水制限がなくなるのは式 3-2-1(5) より  $i_0 + 1 = 366 - T_{n0} \times \gamma \times r_{n(365)} = 95$  日

すなわち

$$366 - T_{n0} \times \gamma \times r_{n(365)} < 95 \quad T_{n0} \times \gamma > \frac{275}{r_{n(365)}}$$

となることから、

$T_{n0} \times \gamma$  が  $\frac{275}{r_{n(365)}}$  を超えるときは  $T_{n0} \times \gamma = \frac{275}{r_{n(365)}}$  とする。

以上の条件のもとで、

$r_{n(365)}$  の確率分布  $f(r_{n(365)})$  が定まれば、流域の年平均渇水被害額(断水リスク)  $D_r$  は次式で計算できる。

$$D_r = P \times \int_0^{\infty} DL(n) \cdot f(r_{n(365)}) dr_{n(365)} \quad \cdots 3-2-1(23)$$

ここに、 $r_{n(365)}$ :  $n$  年の最大給水制限率、 $f(r_{n(365)})$ :  $r_{n(365)}$  の発生確率、 $P$ :流域人口である。

(2) 平常時事故断水被害指標

管種、管径等による事故発生被害件数、被害度等より平時の管路事故リスクを算定した。

被害計算式

水道施設更新指針<sup>23)</sup>を基に平常時の断水による年間事故被害額を計算し、これを平常時事故断水指標 $D_p$ とした。

$$D_p = P_f \times P_p \times V_p \times D_i \quad \cdots 3-2-1(24)$$

ここに、 $P_p$ ：路線が受け持つ給水人口(人)、 $V_p$ ：路線の復旧速度(日/件)、 $D_i$ ：1人1日当たり断水被害額、 $P_f$ ：平常時の事故件数(件/年)で次式で与えられる。

$$P_f = C_f \times C_p \times \alpha_r \quad \cdots 3-2-1(25)$$

ここに、 $C_f$ ：事故危険度係数(表3-2-1(2))、 $C_p$ ：管径による補正係数(表3-2-1(3))、 $\alpha_r$ ：事故断水率。

路線が受け持つ給水人口  $P_p$  (人)の算定

管路の流下能力を基に以下にとおり設定した。  
水道施設設計指針より

$$P_p = \frac{Q_{dm}}{Q_0} \quad \cdots 3-2-1(26)$$

ここに、

$Q_{dm}$ ：管路が受け持つ1日平均給水量( $m^3$ /日)

$Q_0$ ：給水原単位( $m^3$ /人/日)

また、

$Q_{dpp}$ ：計画1日最大給水量

$Q_{dp}$ ：1日最大給水量( $m^3$ /日)

$Q_{hpp}$ ：計画時間最大通水量( $m^3$ /日)

$Q_{hp}$ ：時間最大給水量、 $Q_c$ ：管路の流下能力

とすると

$$Q_{dm} = Q_{dp} \times \text{負荷率} \quad \cdots 3-2-1(27)$$

$$Q_{dp} = Q_{dpp} \times \text{施設稼働率} \quad \cdots 3-2-1(28)$$

$$Q_c = Q_{hpp}$$

となり、管路の流下能力から、以下のとおり  $P_p$  を算定した。

ハゼンウィリアムズ公式より管内流速・流量は次式で与えられる。

$$V = 0.355C \times D^{0.63} \times I^{0.54}、Q_c = V \cdot (D \times 0.5)^2 \times 3.14 \quad \cdots 3-2-1(29)$$

表 3-2-1(2) 事故危険度係数  $C_f$

管種		$C_f$ (件/km/年)
ダクタイル	DIP	0.02
鑄鉄管	CIP	0.2
鋼管	SP	0.02
硬質塩ビ管	VP	0.3
石綿セメント	ACP	0.4
その他		0.35
耐震型継ぎ手		0

表 3-2-1(3) 管径による補正係数

管径(mm)	$C_p$
75 ~ 150	1.6
200 ~ 250	1
300 ~ 500	0.8
500 ~ 1000	0.5
1000 ~ 2000	0.2
2000 ~	0.1



ここに、 $V$ :流速(m/s)、 $D$ :管径(m)、 $Q_c$ :流量( $m^3/s$ )、 $C$ :流量係数=100、 $I$ :動水勾配=0.20%

ここで、時間係数を $k$ とすると、計画時間最大配水量 $Q_{hpp}$ は

$$Q_{hpp} = k \times Q_{dpp} / 24 \quad \cdots 3-2-1(30)$$

となり、表3-2-1(4)より負荷率×稼働率を0.62、「水道施設

設計指針」(1日配水量と時間係数:35都市250配水区域)より $k = 2.60 \times (Q_{dpp} / 24)^{-0.0628}$ とすれば、

$Q_{hpp}$ は式3-2-1(27)、(28)、(29)、(30)より次式で得られる。

$$Q_{hpp} = k \times \frac{Q_{dm}}{0.62 \times 24} = 2.60 \times Q_{dm}^{0.9372} \times (1/0.62/24)^{-0.0628} / 0.62/24 \quad \cdots 3-2-1(31)$$

ここで $Q_{hpp}$ を管路の流下能力 $Q_c$ とすれば、式3-2-1(31)より1日平均給水量 $Q_{dm}$ は次式で求まる。

$$Q_{dm} = 5.368 \times Q_c^{(1/0.9372)} \quad \cdots 3-2-1(32)$$

表 3-2-1(5) 管径あたりの給水人口(路線が受け持つ給水人口)

管径 (mm)	流下能力( $Q_c$ )		1日平均給水量( $Q_{dm}$ )	給水人口( $P_p$ )
	( $m^3/S$ )	( $m^3/日$ )	( $m^3/日$ )	(人)
75	0.001175	102	25	63
200	0.015499	1339	392	980
400	0.095945	8290	2743	6857
650	0.344008	29722	10713	26782
850	0.696591	60185	22743	56857
1200	1.725254	149062	59857	149643

#### 復旧速度と断水被害原単位

$V_p$ :復旧速度(復旧工事期間)

関西水道事業研究会報告等<sup>(24),(25)</sup>を元に表3-2-1(6)のとおり設定した。

$r$ :事故発生による断水発生の割合はこれまで公表された業務指標の値を参考に0.1とした。

断水被害原単位 $D_i$ は水道施設更新指針<sup>(23)</sup>より

$$D_i = 33000 \text{ 円/人/日} \text{ とした。}$$

表 3-2-1(6) 復旧工事日数 (単位:日)

管径(mm)	復旧工事日数
～ 250	0.5
300 ～ 450	1
600 ～ 1000	2
1000 以上	3

### (3) 地震断水被害指標

地震による断水被害額  $D_{pai}$  は、地震発生直後断水被害が復旧作業により直線的に減少していくものとして、地震の発生確率と規模、耐震化状況、断水期間等より次式で算定した<sup>26)27)</sup>。

$$D_{pai} = P \times Y_i \times \frac{L_d}{2} \times \frac{D_i}{T_a} \quad \cdots 3-2-1(33)$$

ここに、 $P$  : 人口(人)、 $L_d$  : 断水期間(日)、 $D_i$  : 被害原単位(3.3 万円/日/人)、 $T_a$  : 地震発生周期(50 年)、 $Y_i$  : 初期断水率で算定は次式を用いた<sup>26)</sup>。

$$Y_i = \frac{1}{(1 + 0.0473 \times R_m(\beta))^{-1.61}} \quad \cdots 3-2-1(34)$$

ここに  $R_m(\beta)$  : 管路地震被害率(件/km)、 $\beta$  : 地震の最大加速度で、 $R(\beta)$  : 標準被害率(件/km)とすると、次式で与えられる。

$$R_m(\beta) = C_p \times C_d \times C_g \times C1 \times R(\beta) \quad \cdots 3-2-1(35)$$

$$R(\beta) = 2.88 \times 10^{-6} \times (\beta - 100)^{1.97} \quad \cdots 3-2-1(36)$$

ここに、 $C_p, C_d, C_g, C1$  は、管種、管径、地盤、液状化条件による係数。また、地震発生周期は50年とし、断水期間  $L_d$  は、水道管路の管種、管径別の延長と管路地震被害率  $R_m(\quad)$  より地震による流域全体の被害件数  $N_d$  を求め、復旧速度  $V_d$  を 10 箇所/1 日として次式で求めた。

$$L_d = N_d / V_d \quad \cdots 3-2-1(37)$$

なお用水供給管路の復旧速度は 1 箇所/3 日とし、復旧前は通水率 0 とした。

表 3-2-1(7) 管種別被害係数

管種(mm)	ダグタイル	耐震継手	鋳鉄管	塩ビ管	鋼管	石綿	その他
$C_p =$	0.3	0	1	1	0.3	1.2	1.2

表 3-2-1(8) 地盤性状別被害係数

地形地質	改变山地	改变丘陵地	谷・旧水部	沖積平野	良質地盤
$C_g =$	1.1	1.5	3.2	1	0.4

表 3-2-1(9) 管径別被害係数

管径(mm)	75	100 ~ 150	200 ~ 450	500 ~ 800	900 以上
$C_d =$	1.6	1	0.8	0.5	0.2

地震断水被害指標  $Dpa$  は、用水供給の被災による断水被害  $Dpa_1$ 、と流域内配管被災による断水被害  $Dpa_2$  の重複期間を調整して、次式で算定した。

$$Dpa = Dpa_1 \times y + Dpa_2 \times y^2 + Dpa_2(1 - y^2) \times (1 - y) \quad \cdots 3-2-1(38)$$

$$y = (Ld_2 - Ld_1) / Ld_2 \quad \cdots 3-2-1(39)$$

ここに、 $Ld_1$ : 用水供給復旧期間、 $Ld_2$ : 流域内配管復旧期間、 $y$ : 用水供給受水率

### 3 - 2 - 2 安全性指標

#### (1) 水道水質安全性(発がん・クリプトスポリジウム)指標

水道水質の健康リスクは有害化学物質に起因するものと病原性微生物に起因するものに類別される。ここでは、浄水処理で問題となっている、トリハロメタン(THM)等による発がん・クリプトスポリジウム感染による発症によってもたらされる人の健康被害等を基にリスクを算定し、これを金銭に換算して評価するためDALYs(障害調整生存年数)とその原単位を用いた<sup>28)</sup>。このDALYsは1990年代にMurrayらが開発し、1993年にWHOや世界銀行が世界の疾病負担の総合的な指標として公表したもので、各種保健政策の優位性の合理的な決定に有用なものとして注目されている。これは各種疾患による生命の損失や障害の総体を単に死亡件数や患者の発生件数、生命の短縮としてのみではなく、それ以外の苦痛・障害も考慮に入れて定量化したもので、生命の量的側面として寿命、障害期間を用い、生命の質的側面として年齢層毎の死亡の価値加重、健康障害を加重評価するもので、以下に示す式で計算される。

$$DALY = YLL + YLD$$

$$(\text{死亡}) YLL (\text{Year of Life Lost}) = \sum c_i \cdot e_i \cdot d_i \quad \cdots 3-2-2(1)$$

$c_i$ : 年齢層  $i$  の死亡に対する価値の加重

(専門家集団によるデルファイ法等で算定)

$e_i$ : 年齢層  $i$  の平均余命、 $d_i$ : 年齢層  $i$  の致命的な症例数

$$(\text{障害}) YLD (\text{Year of Life with Disability}) = \sum N \cdot L \cdot W$$

$N$ : 患者数、 $L$ : 疾病の継続時間、 $W$ : 重篤度

#### 発がん被害指標

わが国で供給されている水道の水質は、水質基準で厳格に管理されており、基準を超過することは少ない。化学物質の水質基準値、勧告値には、無毒性量(NOAE: No Observed Adverse Effect Level)および不確実係数から求めた1日耐容摂取量(TDI: Tolerable Daily Intake)に飲料水の寄与を加味して規制値が設定されるもの(閾値のある項目)と、飲用摂取によって生涯のリスク増分が $10^{-5}$ となるリスクレベルをもとに規制値が設定されるもの(閾値のない項目)がある。この発がんに関して閾値のない項目については、例えば基準を下回っていても、発がんのリスクは0ではない。わが国の消毒副生成物の水質基準の中で、閾値のないものとして基準値が設定されている項目は、ジクロロ酢酸、臭素酸の二種類である。また、WHO 飲料水水質ガイドラインではブロモジクロロメタンが閾値のない項目として扱われている。このことから今回水道水質基準で閾値のない下に示す3物質について、発がんリスクを算定した。

ブロモジクロロメタン (WHO 勧告値  $0.06 \text{ mg/L}$ )

ジクロロ酢酸(水道水質基準:  $0.04 \text{ mg/L}$ )

臭素酸(水道水質基準:0.01mg/L)

水道水質基準は、一生涯毎日2L 飲み続けた場合に、発がん発症リスク $10^{-5}$ で設定されており、発がんリスクは、濃度に比例するものとして[濃度 / 基準値 or 勧告値]  $\times 10^{-5}$ として、発ガン物質に係る YLL は下式により算出した。

ここで、平均余命は厚生労働省の簡易生命表を利用する。また発ガンによる死亡確率は 60%、症状の重さは 1 とした。

$$YLL = \text{年齢毎人口比率} \times \text{年齢毎発がんリスク} \times (\text{年齢毎平均余命} / (\text{年齢} + \text{年齢毎平均余命})) \dots\dots 3-2-2(2)$$

なお、年齢ごとの発がんリスクは、誕生してからその年齢までの総飲用量と生涯飲用量の比に比例するものとし(図4-2-1(1)参照)、死亡による価値には年齢による差はないものとした。また、発がんによる障害をもって過ごす時間(YLD)はYLL に比べて十分に小さくYLD は無視した。

以上より式 3-2-2(2)を用いて高度処理による臭素酸(基準値 $\times 0.4$ )のYLLを計算すると、男子: $4.9 \times 10^{-7}$ 、女子: $5.3 \times 10^{-7}$ となり、平均値は $5.1 \times 10^{-7}$ となった。同様にプロモジクロロメタン、ジクロロ酢酸について村野浄水場の実績を基に計算すると表 3-2-2 (1)に示す通りとなった。

表 3-2-2 (1) 淀川原水と処理水の

発がんリスクおよび DALYs

発がんリスク ( $\times 10^{-5}$ )		原水	通常	高度
	プロモジクロロメタン	0	0.08	0.01
	ジクロロ酢酸	0	0.28	0.00
	臭素酸	0	0	0.40
年間 DALYs( $\times 10^{-6}$ /年)		0	0.46	0.52

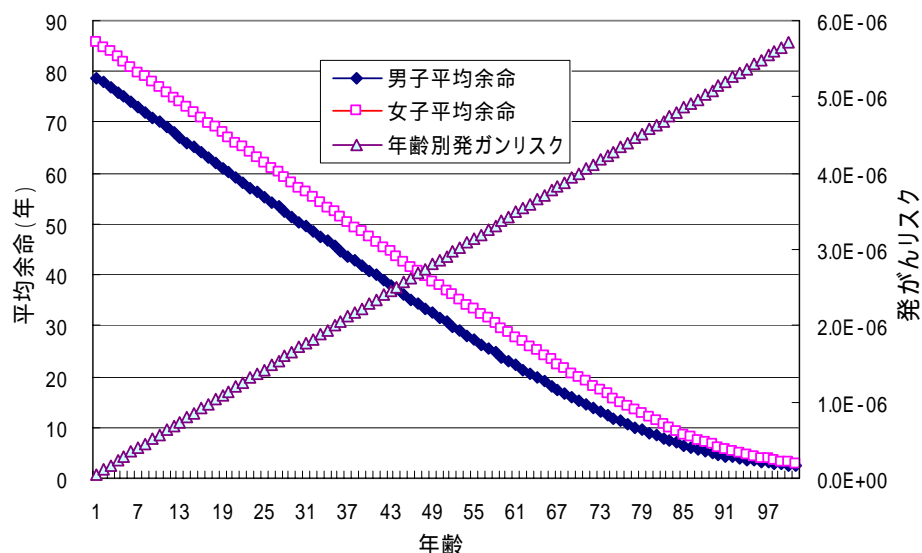


図3-2-2(1) 年齢別の臭素酸の発がんリスクと平均余命

## クリプトスポリジウム被害指標

近代水道の発達と塩素消毒による衛生的な水道水の供給は、水道水を介したコレラやチフスなどの水系感染症の制圧に絶大な威力を発揮したが、近時、新たな問題として原虫による感染症が注目されてきた。水系感染症の原因となり水道の水質管理の

対象となる微生物にはレジオネラなどの病原細菌、ノロウイルスなどのウイルス、クリプトスポリジウムなどの原虫があるが、これらの大半は、塩素消毒により不活化される。しかし、中にはクリプトスポリジウムやジアルジアのようにオーシストを形成し塩素耐性をもつものもある。

アメリカではここ10年に発生した水系感染症で最も多くの患者を出した病原体はクリプトスポリジウムで、発生件数ではジアルジアが最も多かったと報告されている<sup>29)</sup>。わが国でも1996年に埼玉県越生町で水道水によるクリプトスポリジウムの集団感染事故が発生し、また、水道水から検出されて給水停止を引き起こすなど水処理上の大きな課題となっている。一方ジアルジアについては、全国の水道水源中から多く検出されているが、わが国では集団下痢症は発生していない。また、クリプトスポリジウムは不活性化のために必要なCT値(消毒剤濃度と接触時間の積)がジアルジアに比して大きく、塩素耐久性が非常に強いことから、ここではクリプトスポリジウムを評価の対象とした。クリプトスポリジウム感染の主な症状は下痢であり、原水に含まれるオーシスト個数と浄水処理性を基に、浄水の汚染確率を算定し、DALYsを基にリスクを算定する。米国ミルウォーキーにおける集団発生事例等より、感染による健康者での死亡は、10万人に1人、下痢症による死亡は75歳以上、発症者は感染者の71%として、感染者1000人当たり1.03 DALYsと計算され、オーシスト1個当たりの感染率より、水道水での検出が一個/10Lの時、年間の健康影響度はDALYs:  $1.5 \times 10^{-4}$ と計算されている。浄水処理によるクリプトスポリジウムの除去率は沈殿ろ過で2log、オゾン、活性炭処理で2logとし、通常処理で2log、高度処理で4logとした。

表3-2-2(2)は淀川原水と村野浄水場処理水の水質データを元にDALYsを算定したものである。

表 3-2-2(2) 淀川原水と処理水の

クリプトスポリジウムと DALY

	原水	通常	高度
クリプトスポリジウム(個数/10L)	0.82	-	-
年間 DALYs( $\times 10^{-6}$ /年)	123	1.23	0.01

## 健康リスクの算定

損失余命の価値は、確率的生命価値に関連することから、多くの研究調査がなされている。

これまでの研究成果を基とした一般論として「一件の年間死亡が40年の損失余命に相当することから、1～10億円というVSL(確率的生命価値)は、250万～2500万円の「生存の価値(value of a life-year)」を意味する」とされている<sup>30)</sup>。

EPS(スウェーデン1999)では健康被害 単位ELU YOLL(Year Of Lost Life): 85,000ELU/人/年としておりこれを(1ELU=1EURO 1EURO=121円)円に換算すると10.285百万円/人/年となる。

LIME - LCA(日本2002)でも 人間健康 単位1DALY 経済価値額(円/1DALY)として9.7百万が提示されている<sup>31)</sup>。

以上より、損失余命の原単位をここでは10百万円/人/年とし、この価値がこれらの発症により失われるものとして、DALYs値を乗じることによって水道水質の健康リスク指標とした。

## (2) 水道水非飲用費用指標

近時、わが国が誇る飲用可能な水道水を直接飲用せず、ペットボトルや浄水器を使用する傾向が増大している。これは、個人の費用負担や環境負荷を増大する要因ともなっている。水道水の非飲用の原因には、異臭味や安全性に対する不安、ファッション性など種々考えられるが、これまでの住民アンケートや調査から水道水質との関係が大きいと考えられ水道の安全性に関する指標として評価項目とする必要がある。

### 指標の選定

水道の直接飲用には水のおいしさが最も関係すると考えられ、おいしい水の条件についてはこれまで旧厚生省等により提示されてきた。全国 82 点の水の化学成分と利き水調査から相関分析により求められた結果では、硬度、有機物、鉄、重炭酸イオンとおいしさとの相関が高く、中でも有機物との相関が最も高いとの調査結果が報告されている<sup>32)</sup>。

水道事業ガイドラインの指標に、住民意見を踏まえて直接飲用率が加えられたことから、ここでは、水道水質基準でかつおいしい水と相関が認められる有機物濃度に注目し、直接飲用との関係から水道水の非飲用率の推定を試みた。これらの関係式を利用して非飲用により生じる代替手段の費用を算定し非飲用指標とした。その際、処理された浄水の有機物濃度を得るため原水水質と浄水場の処理手法による浄水水質の関係を求めた。

### 原水水質と処理手法による浄水処理性

#### 通常処理(凝集沈殿、ろ過)

大阪府内にある通常処理浄水場(2千m<sup>3</sup>/日以上)のH15～H17の原水水質  $x$  (過マンガン酸カリウム消費量 mg/L)と処理後の浄水水質  $y$  の相関を取ると図 3-2-2(2)より、次の関係が得られる。

$$y = 0.207x + 0.83 \quad \cdots \cdots 3-2-2(3)$$

ここに、 $y$  : 浄水水質(過マンガン酸カリウム消費量 mg/L)

$x$  : 原水水質(過マンガン酸カリウム消費量 mg/L)

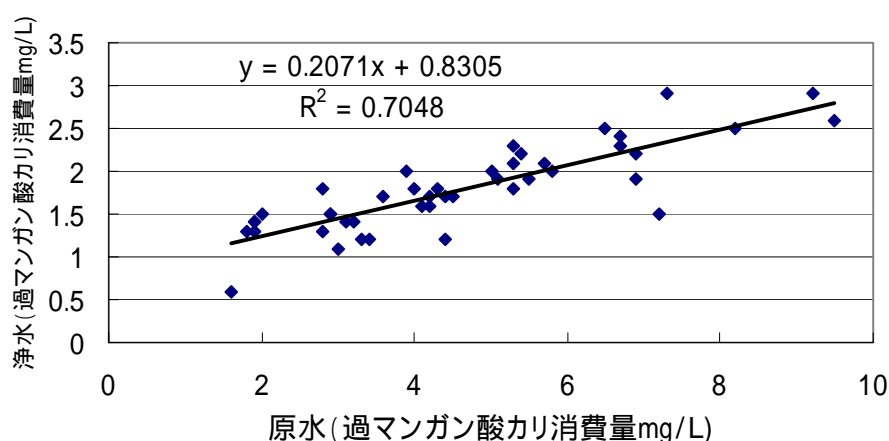


図 3-2-2(2) 通常処理による有機物等の処理性

高度処理(オゾン、粒状活性炭)

高度処理水の水質は、村野浄水場の実績値  $\text{KMnO}_4$  消費量:  $1\text{ mg/L}$  を用いた。

#### 有機物濃度と非飲用率との関係

現在、日本水道協会が公表している全国の水道事業体の水道事業業務指標で、直接飲用率の値が表示されている業務指標と対応する有機物濃度の基準値比を抜粋し、その関係を求めた。

現在、直接飲用率を調査し公表している事業体は少なく、またアンケートの手法によって大きく結果が異なることから、両指標の関係にも大きなばらつきはあるが、最小二乗法による近似式を求めれば、次式が得られる。

$$Dd = -1.26 \times r_{tx} + 101.9 \quad \cdots 3-2-2(4)$$

ここに、 $Dd$ :直接飲用率(%),  $r_{tx}$ :有機物濃度基準比率(%)

この式は有機物0で直接飲用率ほぼ100%、水質基準値で0%、おいしい水基準(30%)で約60%となり常識的な関係式となっている。直接飲用率20%以下、20~30%、30%以上の3ランクで有機物基準適用率の平均を取っても同様な関係式が得られることから、ここでは3-2-2(4)式を用いた。

なお、水質基準ではこれまで有機物等として過マンガン酸カリウム消費量( $\text{KMnO}_4$ ): $10\text{ mg/L}$  が用いられていたが、H15の改正で全有機炭素(TOC) $5\text{ mg/L}$  が用いられるようになった。全有機炭素の評価値については、過マンガン酸カリウム消費量 $10\text{ mg/L}$  に相当する値をもって評価値とするとされており<sup>33)</sup>、ここでは基準値に対する濃度比は非飲用に対して同等とした。

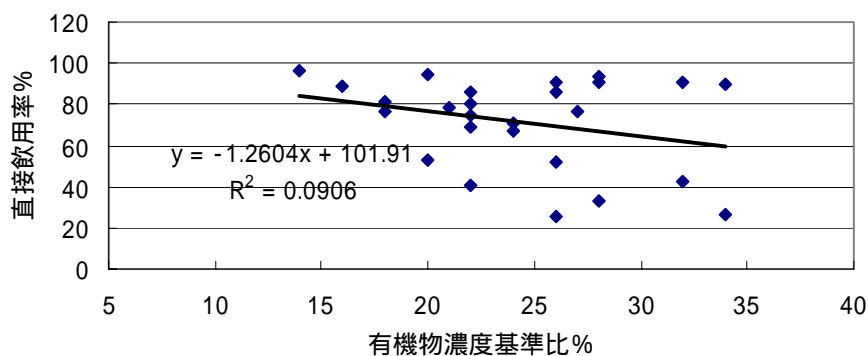


図 3-2-2 (3) 有機物濃度と直接飲用率の関係

表 3-2-2(3) 水道事業業務指標として公表された有機物(TOC)と直接飲用率

H17	有機物水質 基準比(%)	直接飲用 率(%)	H16	有機物水質 基準比(%)	直接飲用 率(%)
東京都	26	51.9	横浜市	22	79.9
横浜市	22	74.8	札幌市	28	93.5
札幌市	16	89	松江市	22	85.6
豊中市	21	78.7	名古屋市	24	67.5
松江市	20	52.8	大阪市	26	86.3
名古屋市	28	90.3	堺市	18	76.2
岡山市	20	94.3	郡山市	22	69.2
福島市	27	76.4	千葉県	28	33
西宮市	32	90.5	山形市	14	96
秋田市	32	42.2	広島市	18	81
大阪市	26	90.3	伊丹市	34	26.8
横須賀市	22	40.6			
神戸市	34	90			
郡山市	24	71.1			
草加市	26	25.2			

#### 水道非飲用による被害額

東京都の費用対効果算定基準<sup>34)</sup>での水質改善行動基準を基に表 3-2-2(4)に示すとおり、水道水を直接飲用しないことによる費用(非飲用被害原単位:  $Jd$ )を1万円/人/年とした。非飲用指標  $NDd$  は、3-2-2(4)式の直接飲用率  $Dd$  と給水人口  $P$ 、非飲用費用原単位  $Jd$  より3-2-2(5)式で算定できる。

$$NDd = Jd \times (1 - Dd) \times P \quad \cdots 3-2-2(5)$$

表 3-2-2(4) 非飲用指標原単位の算定

東京都東村山浄水場(世帯人数 2.15 人)				
水質改善行動	実施割合	単価		(円/人/年)
沸騰消毒	21.6	2400	円/世帯/年	241
浄水器設置	39.5	6550	円/世帯/5 年	241
フィルター交換	39.5	8820	円/世帯/年	1621
ボトルウォーター	12.8	33000	円/人/年	4224
合計	73.9			6327
	非飲用原単位: $6327 / 0.739 =$			8561



### (3) 水源水質事故被害指標

水源水質事故リスクは、発生頻度と取水停止、取水制限等による被害を基にリスクを算定した。

淀川での事故発生頻度

過去 50 年間に淀川で実際に起きた水質事故は以下のとおりである。

昭和 43 年 3 月：シアン流出（瀬田川で多量の魚が浮上。工場からの廃液）

平成 6 年 6 月：有機溶剤混入

平成 15 年 2 月：軽油流出

上記事故頻度と流下時間（2～3 時間）を考慮し、事故発生頻度  $f_{wt}$  を  $3/50=0.06$  回/年、取水停止期間 1 日と想定することとした。

自己水源での水質事故

流下時間が短い（1～2 時間程度）のに対して配水池容量 12 時間程度あることを考慮して給水に影響なしと判断した。

水質事故リスクの計算

制限率  $\gamma_{wt}$  = 制限水量/需要水量とし、

給水制限による被害度は、渇水被害と同じ水質価値曲線を用いた。

$$C(p) = a \cdot e^{-b \cdot q} C(q) \quad (\text{円}/\text{m}^3) \quad \cdots 3-2-2(6)$$

ここに、一人一日給水量  $q$  ( $\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ )、 $a, b$  は表 3-2-1(1) 参照

ここで、平常時の給水量を  $q_0$  ( $\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ ) とすると、水質事故時における一人 1 日の供給量  $q_{wt}$  は

$$q_{wt} = q_0 \times \gamma_{wt} \quad \cdots 3-2-2(7)$$

となり、水源水質被害指標 IDwt は次式で計算できる。

$$\text{IDwt} = D(q_{wt}) \times f_{wt} = \frac{a}{b} \cdot (e^{-b \cdot q_{wt}} - e^{-b \cdot q_0}) \times P \times Td \times f_{wt} \quad \cdots 3-2-2(8)$$

ここに、 $P$  : 給水人口(人)、 $Td$  : 断水期間(日)、 $f_{wt}$  : 事故発生頻度

### 3 - 3 地球環境とライフサイクルコスト指標

#### 3 - 3 - 1 上下水道施設の地球環境とライフサイクルコスト評価手法

人類の経済活動に起因する地球温暖化への対策は、今や人類の発展にとって最大の課題となっている。また持続可能性の確保という点から、現在の経済発展や環境リスクを減じるために今の世代が有限な地球上の資源を使用しつくすことはできない。現在の上下水道システムは水資源とエネルギーに依存していることから、地球環境保全の視点も重視する必要がある。

ここでは2章の2-5で論じたように、地球環境指標として、枯渇資源に関連するエネルギー消費量と地球温暖化に関わるCO<sub>2</sub>排出量を用い、これらの数値の算定に当たっては、「積み上げ法」と「産業連関分析法」併用によるLCA((Life Cycle Assessment)のLCI(Life Cycle Inventory)分析手法を用いた。また、金額評価については、エネルギーは最も質の高いエネルギーである電力の市場価格を、CO<sub>2</sub>はわが国のCO<sub>2</sub>排出レベルを1990年レベルに低減するための炭素税評価を基に行った。

また、今後、わが国の人口は減少に転じ、経済の大幅な発展も見込めず、限られた財源の基で種々の施策を実施する必要があることから、生産から運用管理、廃棄にいたるトータルコストの削減も大きな課題であることから、ライフサイクルコスト(LCC)も指標の一つとして導入した。

その環境負荷量算出フローを図 3-3-1(1)に示した。

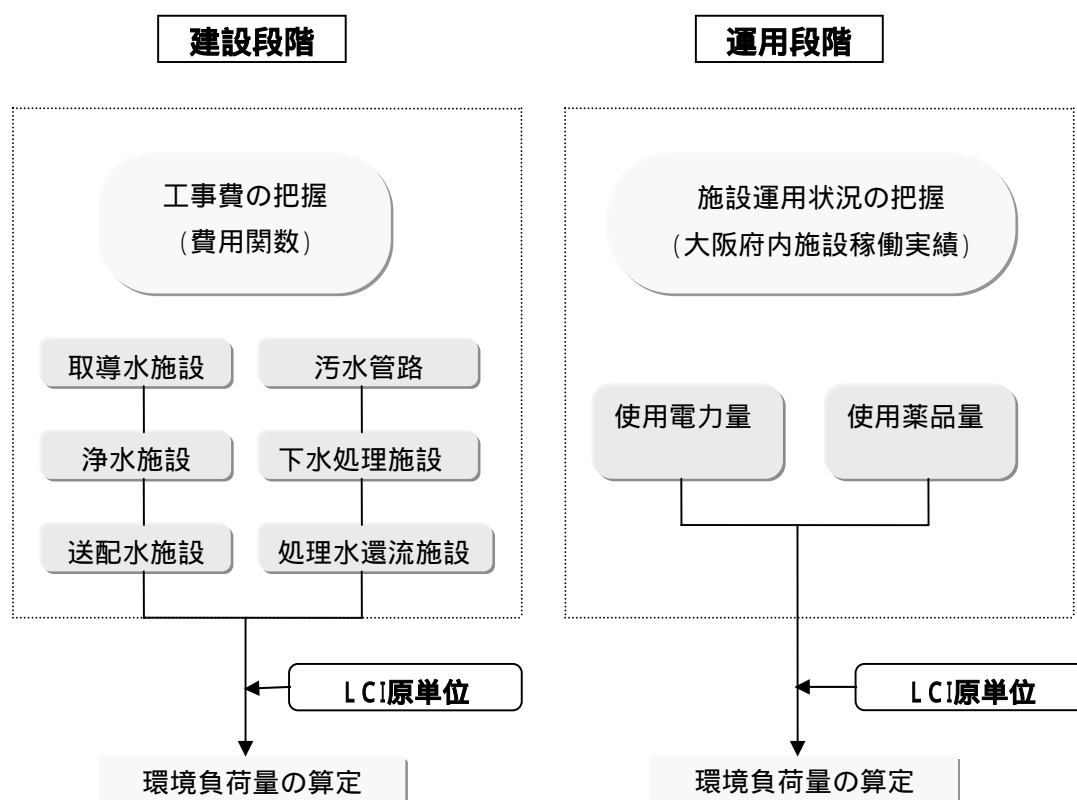


図 3-3-1(1) 環境負荷量算出フロー

建設段階(イニシャル)部分の環境負荷排出量、すなわち上水道施設や下水道施設の設備段階や設備設置などに費やされたエネルギー、CO<sub>2</sub>の総量を「積み上げ法」により算出することは工種が膨大で困難なことから、浄水場の建設、管路の布設、設備の設置などに分け、表 3-3-1(1)に示す費用関数<sup>35)</sup>を用いてそれぞれの費用を計算した。そして、算出した価格から表 3-3-1(2)に示した LCI 原単位<sup>36)</sup>を用いて CO<sub>2</sub> 排出量またはエネルギー消費量へ変換した。

費用関数は建設工事費デフレーター<sup>37)</sup>を用いて1995年度価格に揃え、浄水場と配水池の費用関数を求める際には土木:設備 = 7:3という割合で、下水処理場とポンプ場の費用関数については土木:設備 = 1:1という割合で分割している。また、LCI 原単位に関しては「産業連関分析法」の標準的な手法である (I-A)<sup>-1</sup> 型の逆行列による計算結果を用いている。産業連関表としては1995年の統合表399部門を基本とした。

また、建設段階の CO<sub>2</sub> 排出量またはエネルギー消費量の算出の際には、耐用年数で除して1年間当たりの環境負荷量に換算した。

表 3-3-1(1) 費用関数

	対象施設	費用関数(95 年度価格・百万円)
上水道	取導水施設(土木)	$0.044 \times Q$
	取導水施設(設備)	$0.0067 \times Q$
	浄水施設(土木)	$73.9 \times (1.1 \times Q/1000)^{0.915}$
	浄水施設(設備)	$31.7 \times (1.1 \times Q/1000)^{0.915}$
	配水池	$18.4 \times Q/2000 + 32.8$
	配水管	$(7.79 \times 10^{-5}x^2 + 1.15 \times 10^{-1}x + 24.7) \times L(X)$
下水道	管渠	$(40 + 0.14x + 7.1 \times 10^{-5}x^2) \times L(X)$
	ポンプ場	$490 \times N$
	処理場	$588 \times (Q/1000)^{0.719}$
Q:日最大配水量 (m <sup>3</sup> /日) x:管径(mm) L(x):管渠延長(km) N:施設数		

表 3-3-1(2) LCI原単位 (建設段階)

	部門	エネルギー消費	CO <sub>2</sub> 排出
土木(上水道)	その他の土木建設	1.00TOE/百万円	1.05t-C/百万円
土木(下水道)	河川・下水道・その他の公共事業	0.914TOE/百万円	1.00t-C/百万円
設備	その他の一般産業機械及び装置	1.10TOE/百万円	0.98t-C/百万円

TOE=10<sup>7</sup> kcal

耐用年数は法定上の耐用年数を参考に表 3-3-1(3)のように定めた。

一方、運用段階(ランニング)部分では構成要素が比較的単純でデータ蓄積があるため「積み上げ法」を用いた。電力、A 重油、塩素、PAC、苛性ソーダを対象として、消費量に LCI 原単位を乗じて CO<sub>2</sub> 排出量またはエネルギー消費量を算出することにした。環境負荷排出量への変換のために用いた LCA 原単位を表 3-3-1(4)に示した。苛性ソーダの CO<sub>2</sub> 排出原単位は液体苛性ソーダの比重を 1.25 として変換した値を採用した。

表 3-3-1(3) 耐用年数

	対象施設	耐用年数
上水道	取導水施設(土木)	40 年
	取導水施設(設備)	15 年
	浄水施設(土木)	40 年
	浄水施設(設備)	15 年
	配水池	40 年
	配水管	40 年
下水道	管渠	50 年
	ポンプ場(土木)	50 年
	ポンプ場(設備)	15 年
	処理場(土木)	50 年
	処理場(設備)	15 年

表 3-3-1(4)上下水道 LCI 原単位(運用段階)

	エネルギー消費	CO <sub>2</sub> 排出
塩素	9.54 kcal/g	299 kg-C/t
PAC	0.58 kcal/g	299 kg-C/t
苛性ソーダ	7.23 kcal/g	178 kg-C/t
A 重油	9300 kcal/l	0.736 kg-C/l
電力	2250 kcal/kWh	0.104 kg-C/kWh

### 3-3-2 上下水道の環境影響経済評価とライフサイクルコスト

エネルギーについては量とともにその質が大事とされ、質の高いエネルギーは作るための費用が大きくなることから、もっとも質の高いエネルギー源の一つである電力費に換算してエネルギーの金銭指標とした。CO<sub>2</sub> については、京都議定書で示されたわが国において 6%削減を実現するために必要な炭素税 3 万円/t-C を用いた<sup>38)</sup>。また、ライフサイクルコストについては、費用関数で求めた 1995 年時点の価格をデフレーターを用いて 2003 年の単価に変換した。

## 3-4 結 語

本章では、次世代へ向けた上下水道システムを総合的に評価するための 4 分野の指標の設定方法、根拠を示し、河川・流域指標については河川平常時流量、水質、洪水流量、自然地面積など 7 項目、水道指標については湯水被害や非飲用費用など 6 項目、地球環境指標についてはエネルギーと CO<sub>2</sub> の 2 項目、LCC 指標の 1 項目の各個別指標について貨幣で評価する手法を構築した。

### 第3章 参考文献

- 1) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議:健全な水循環系構築に向けて(中間とりまとめ),1999.
- 2) 国土交通省:「今後の河川水質管理の指標について(案)」,2005.
- 3) 地方公営企業経営研究会:地方公営企業年鑑,(財)地方財政協会,2003.
- 4) 平山晴章:琵琶湖淀川における土地利用変化を考慮した窒素負荷流出に関する研究:京都大学工学研究科修士論文,p.26,2003.
- 5) 三浦浩之,和田安彦,多田律夫,尾崎 平:下水処理水還流システムの環境調和性に関する研究,土木学会論文集, No.629/ -12,p.57-66,1999.
- 6) 大阪府水道部:大阪府水道用水供給事業の水需要予測結果,p.29,2005.
- 7) 日本下水道協会:流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 1999.
- 8) 琵琶湖・淀川水質保全機構:琵琶湖・淀川水環境改善対策総合調査報告書, p.234,2000.
- 9) 大阪府水道部:水質試験成績並びに調査報告,2003.
- 10) 農林水産省:H17 食料,農業,農村白書 H18 版,p.107,2006.
- 11) 国土交通省:水資源白書 H18 版,p.29,p.66,2006.
- 12) 大阪府土木部:大阪府の雨量第8~11集,1989,1994,1999,2004.
- 13) 河内長野市:河内長野市統計書,2006.
- 14) 大阪府建築都市部:国土計画関係資料集(土地利用現況),2005.
- 15) 大阪府企画調整部:H15 大阪府統計年鑑,2004.
- 16) 大阪府土木部:大阪府流量観測報告,1986-2005.
- 17) 大阪府環境保健部等:大阪府域河川等水質調査結果報告書,1986-2005.
- 18) 土木学会:水理公式集H11 年版, p.37,1999.
- 19) 大阪府下水道課:H18 下水道統計,p.274,2006.
- 20) 日本ダム協会:ダム年鑑 H14 版,p.593, 2002.
- 21) 日本学術会議答申:地球環境・人間生活にかかる農業及び森林の多目的評価について(付表), 2001.
- 22) 日本水道協会:水道事業費用対効果マニュアル(案),2004.
- 23) 日本水道協会:水道施設更新指針,p.109-111,2005.
- 24) 関西水道事業研究会:関西水道事業研究会地震部会報告書,1996.
- 25) 大阪府水道部:大阪府工業用水道配水施設基本計画,2004.
- 26) 水道産業新聞社:全国 446 都市の水道の地震安心度評価,p.9, 2003.
- 27) 日本水道協会:地震による水道管路の被害予測,p.54-56, 1998.
- 28) 斉藤方正,木村昌弘,伊藤禎彦:DALY による水道水質リスク評価,第 58 回全国水道研究発表会講演集, p.716-717, 2006.
- 29) 保坂三継:クリプトスポリジウムとジアルジアによる水環境及び水道水の汚染,保健医療科学,VOL.56, NO1, p.24-31, 2007.

- 30) 岡敏弘: 環境経済学, p.189, 岩波書店, 2006.
- 31) 伊坪徳宏,稲葉敦:ライフサイクル影響評価手法, p.350, 産業環境管理協会, 2005.
- 32) 佐々木健,竹野健次,保光義文:名水とは一名水鑑定の実際,水処理技術,VOL.47,No.6.2006.
- 33) 厚生労働省:第4回厚生科学審議会生活環境水道部会報告(水質基準の見直し等について),p.24-28,2003.
- 34) 東京都水道局:水質改善行動に係る効果[便益]の算定,2005.
- 35) 伊藤禎彦,千田祐一郎:流域における小規模分散型水供給システム導入可能性の解析,第39回日本水環境学会年次講演会集,p.419,2005.
- 36) 南齋規介,森口祐一,東野達:産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID),国立環境研究所,2002.
- 37) 国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課:建設工事費デフレーター,2004.
- 38) 環境庁:地球温暖化システム検討会第2次中間報告書,1994.

## 第4章 検討モデル流域と上下水道再構築パターンの設定

本章では、第3章で設定した評価指標をモデル河川流域に適用し上下水道システムの評価を試みるため、モデル流域の設定と上下水道再構築パターンの設定を行った。

図4-1(1)モデル河川位置図

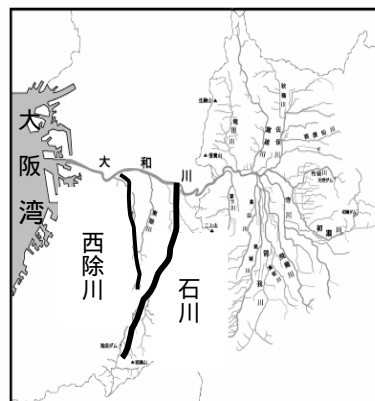


図4-1(2)石川・西除川流域図



## 4 - 1 検討対象流域の選定

大和川支川で、流域特性(人口密度や河川の水質など)が大きく異なり、ともに水道水源となっている石川と西除川の二つの流域を検討対象に選定し、両流域をモデル化して I 及び N 流域を設定した(図-4-1(1)、図-4-1(2))。

### 4-1-1 石川、西除川流域の概要

#### (1) 石川流域

石川は、大阪と奈良・和歌山の境をなす金剛葛城山系に源を発し、南河内平野の中心部を貫流して大和川と合流する流域面積 $220\text{km}^2$ の一級河川(図 4-1-1(1))。流域は3市2町1村で構成され約6割が山地、約2割が田畑、宅地その他の市街地が2割で最近それらの割合の変化はない(図 4-1-1(2))。地質的には東南の山地部は、花崗岩が主として分布し、丘陵部では、未固結堆積物の礫、砂、泥、礫互層が主となっている。気候は瀬戸内式気候区に属し、温暖で年間の気温差は比較的少なく、平均気温は約 $16^\circ\text{C}$ 、年間平均降雨量は $1200\text{mm}$ 程度である<sup>1)</sup>。

下水道整備は1990年頃から急速に進められ、現在処理人口は50%に達している<sup>2)</sup>。

河川水質は、1990年頃まで COD  $6\text{mg/L}$  で推移してきたが、最近若干の改善が見られる(図 4-1-1(3))。

水道給水量は人口の増加とともに1990年までは増加したが、近時横ばいか若干下降気味である。この間の給水内訳は、淀川を水源とする大阪府営水道から浄水の供給を受ける用水供給量が $2\text{万m}^3/\text{日}$ から $4\text{万m}^3/\text{日}$ に増加したのに対して、主に石川を水源とし市町村自らが浄水処理して供給する自己水量が $6\text{万m}^3/\text{日}$ と一定で推移している<sup>3)</sup>(図 4-1-1(4))。

今回の検討では、大阪を代表する河川の一つで、森林面積が広く自然豊かな流域として、次世代へ向けた望ましい上下水道システムを構築することが容易と考えられる河川流域として選定した。



図 4-1-1(1) 石川中流部の写真



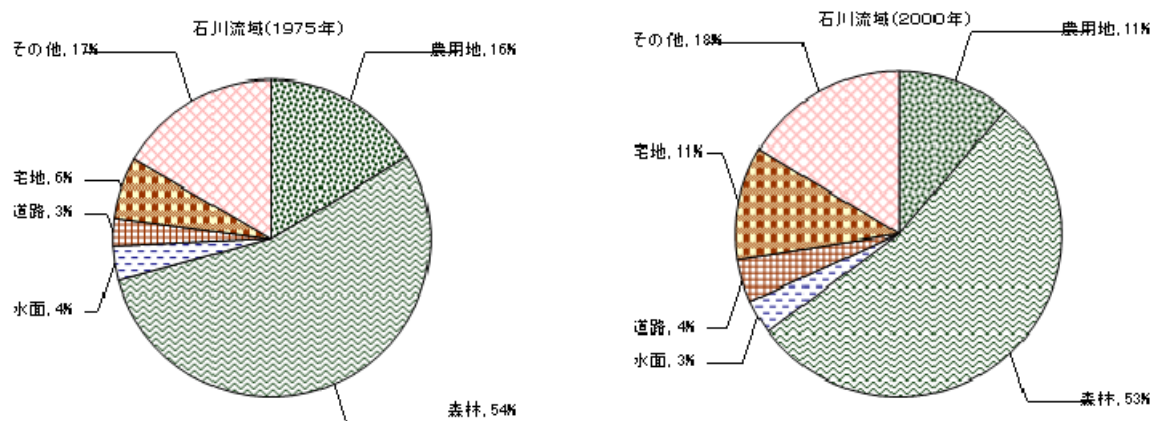


図 4-1-1(2) 石川流域土地利用の変化

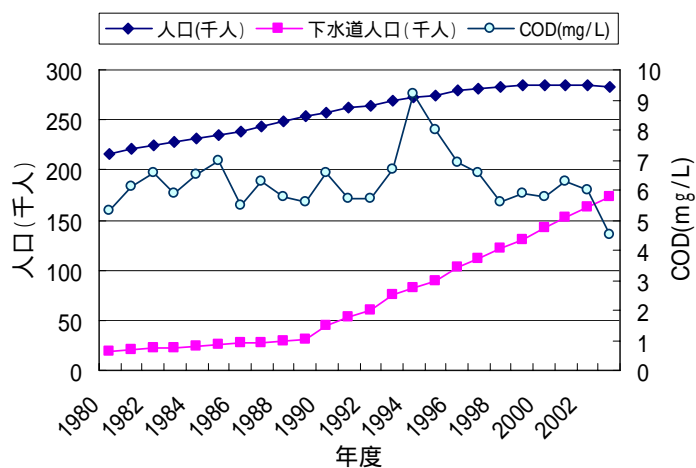


図 4-1-1(3) 石川流域の下水道人口と水質

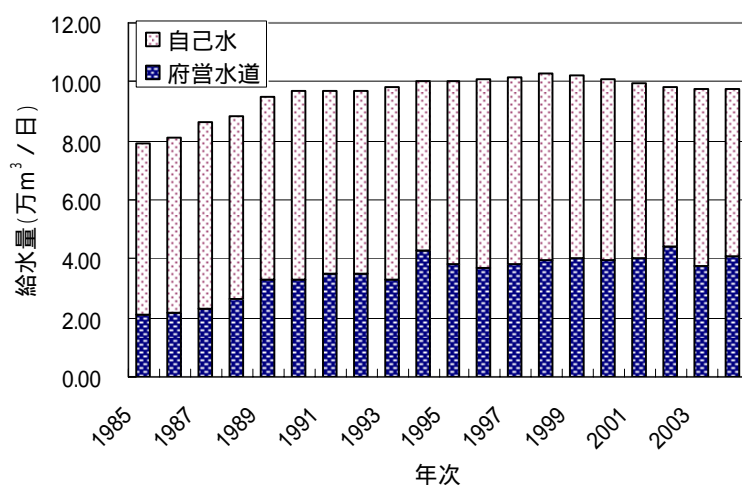


図 4-1-1(4) 石川流域の水道供給量の内訳

## (2) 西除川流域

西除川は、その源を和泉山地に発し狭山池ダム(図4-1-1(5))を経て、大和川左岸に流入する流域面積は52.8km<sup>2</sup>の一級河川(図4-1-1(6))。流域は4市で構成され、流域の大半が市街化区域で宅地化が進み、現在、市街地は約60%、森林と農地は30%となっている(図4-1-1(7))。表層の地質は、旧大和川扇状地では砂、丘陵部では礫および泥・砂・礫の互層により構成されている。年平均気温は16.0、年間降水量は1,200mmと石川とほぼ同様である。下水道整備は1990年頃から急速に進められ現在処理人口は70%に達している<sup>4)</sup>。

河川水質は、COD 15~20mg/Lで推移してきたが、最近若干の低減が見られる(図4-1-1(8))。

水道給水量は人口の増加とともに1990年までは増加したが、近時横ばいか若干下降気味である。この間の給水内訳は、用水供給量が6万m<sup>3</sup>/日から7万m<sup>3</sup>/日に増加したのに対して、西除川と地下水を水源とする自己水量が3万m<sup>3</sup>/日から2万m<sup>3</sup>/日に減少している(図4-1-1(9))。

今回の検討では、石川流域に隣接しているが、宅地化が進行し流域の人口密度が石川流域の4倍と高く、平常時の河川流量が少なく河川水質も悪い次世代へ向けて望ましい上下水システム構築が困難と考えられる河川流域として西除川流域を選定した。



図4-1-1(5) 狭山池ダム写真



図4-1-1(6) 西除川中流部写真

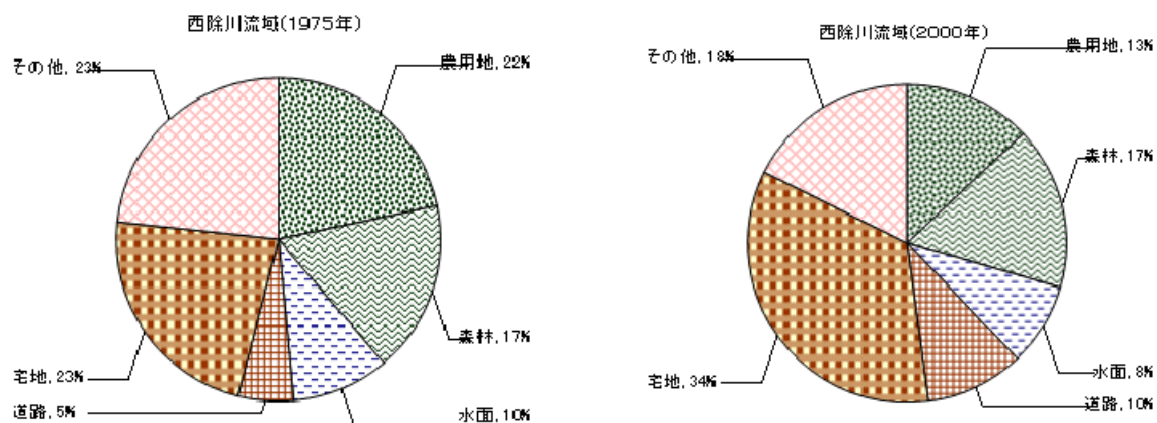


図4-1-1(7) 西除川流域土地利用の変化

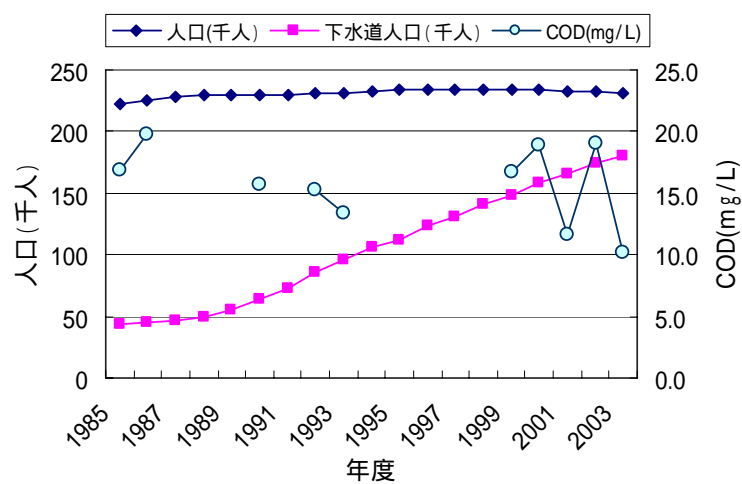


図 4-1-1(8) 西除川流域の下水道人口と水質

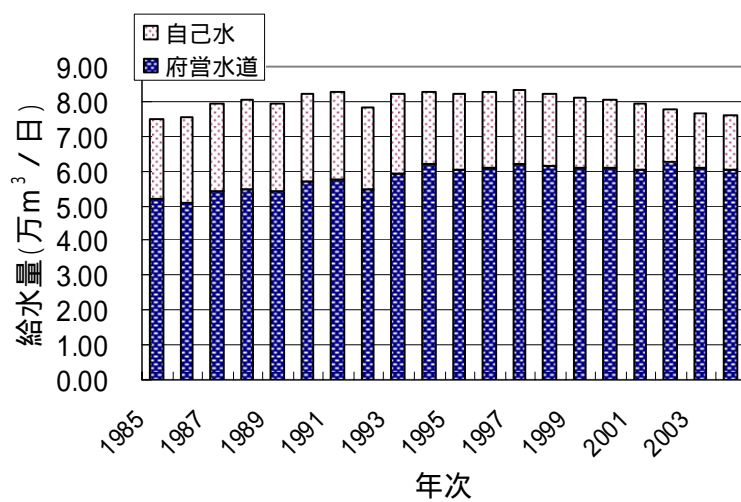


図 4-1-1(9) 西除川流域の水道供給量の内訳

## 4-2 モデル流域の設定

現状の石川及び西除川流域の GIS データと市町村別集計値等<sup>5)、6)、7)、8)</sup>を基に、図 4-1-2(1)に示す I 及び N 流域を設定し、各モデル流域を 4 分割して表 4-2(1)に示す土地利用を設定した。

また各河川の資料や気象データ等<sup>9)</sup>を基に、河川の形状や流域の降雨量、気温等を設定した(表 4-2(2))。

なお、ここで「用水供給」とは、水道用水供給事業者による流域外からの水道水供給を意味する。

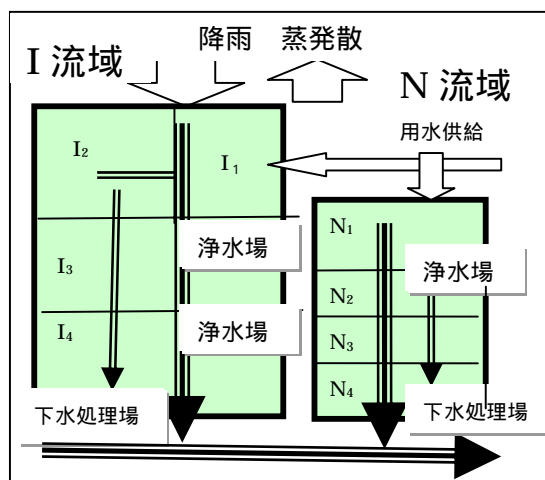


図4-2(1) 検討対象とするモデル流域

表 4-2(1) I,N 流域土地利用内訳

I 流域		分割流域				N流域		分割流域			
地目内訳	面積	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	地目内訳	面積	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>
農地	25	2	3	8	12	農地	10	4	2	2	2
森林	119	26	38	35	20	森林	6	6	0	0	0
宅地	25	1	5	8	11	宅地	20	5	5	5	5
水面	7	1	1	2	3	水面	4	1	1	1	1
道路	10	1	2	3	4	道路	4	1	1	1	1
その他	34	4	6	14	10	その他	6	3	1	1	1
合計(km <sup>2</sup> )	220	35	55	70	60	合計(km <sup>2</sup> )	50	20	10	10	10
人口(万人)	25	2	5	9	9	人口(万人)	25	7	6	6	6

表 4-2(2) I,N 流域の気候および河川状況

	I 流域	N 流域
降雨量(mm/年)	1200	1200
気温( )	16.5	16.5
河川延長(km)	28	12
河川勾配	1/600 ~ 1/100	1/500 ~ 1/250
川幅(m)	200 ~ 50m(天端幅5 ~ 6m)	20 ~ 30m(天端幅3m)
治水レベル	1/20	1/10

### 4 - 3 検討ケースの設定

第1章で示した諸課題に対処し持続可能な上下水道システムを構築するためには、自律分散型上下水道システムなど新たなシステムへの移行が必要である。ここでは、現状システムの検討とともに自律分散型上下水道システムへの移行などを含め、当面考えられる5つの検討ケース(現状を含め6ケース)を設定した。

各検討ケースの模式図を図4-3(1)～(5)に、ケース別の給水量等の内訳を表4-3(1)～(2)、区間別の内訳を表4-3(3)～(4)に示す。

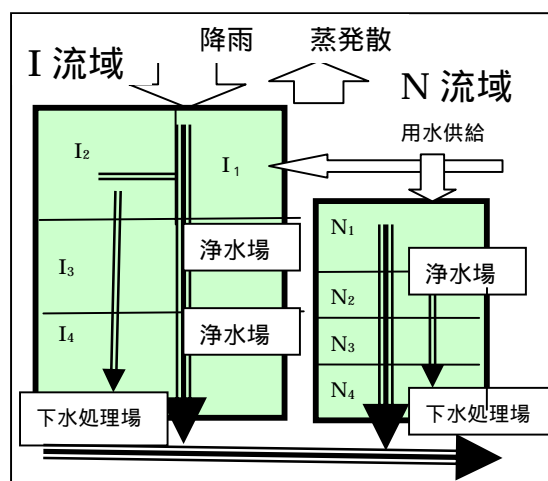


図4-3(1) 検討ケース0, 1

#### ケース0 (図4-3(1))

現状の石川、西除川流域に近いケース。

I流域: 下水道整備率50%

用水供給 4万 $\text{m}^3$ /日、自己水 6万 $\text{m}^3$ /日

N流域: 下水道整備率70%。

用水供給 8万 $\text{m}^3$ /日、自己水 2万 $\text{m}^3$ /日

#### ケース1 (図4-3(1))

現況のシステムのまま推移するケース。

(下水道の整備が進み整備率100%)

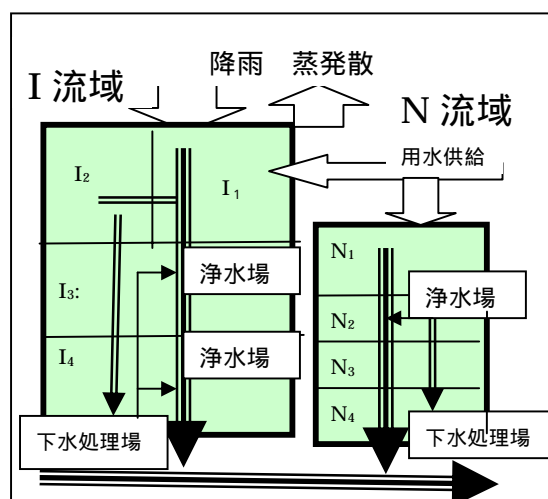


図4-3(2) 検討ケース1-1

#### ケース1-1 (図4-3(2))

現状のシステムで下水道整備による河川流量の減少対策として、下水処理水を河川する還流するケース。

(下水処理水還流量、I流域: 10万 $\text{m}^3$ /日、N流域: 6万 $\text{m}^3$ /日)

#### ケース1-2 (図4-3(3))

他流域からの用水供給量を0として、下水処理水活用と流域内の降雨による自己水源で対応する自律分散型ケース。

(I, N流域とも自己水量10万 $\text{m}^3$ /日、下水処理水還流量10万 $\text{m}^3$ /日)

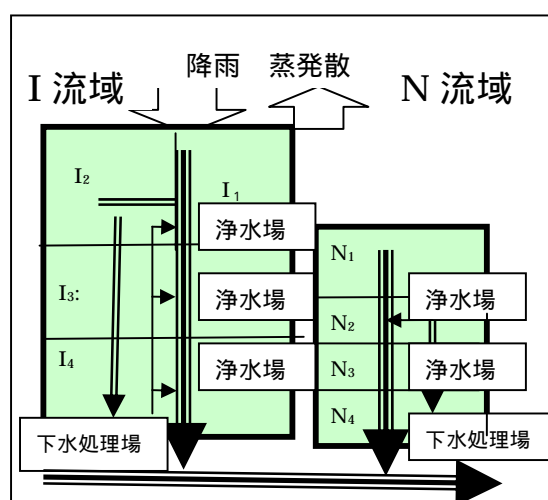


図4-3(3) 検討ケース1-2

**ケース 2** (図4-3(4))

自己水源を廃止し、用水供給100%とするケース。(河川への下水道還流量0)

**ケース 3** (図4-3(5))

現時点で、最も望ましいと考えられる折衷案(下水道完備による流量減少に対処するためI流域:自己水量60%から40%に低減、N流域:用水供給100%として、最小限の河川への下水処理水の還流4万 $\text{m}^3/\text{日}$ )

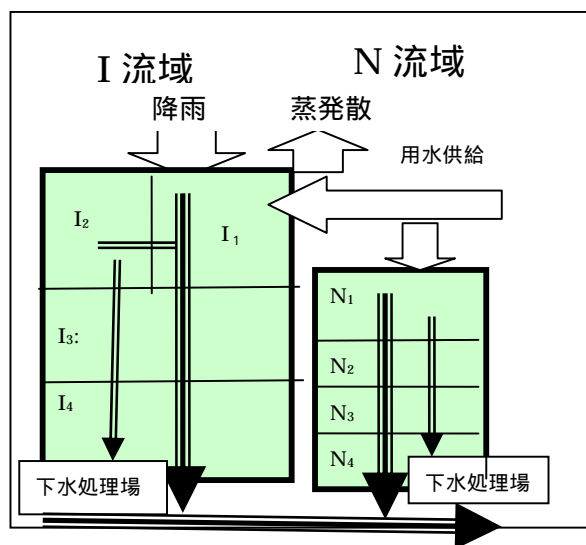


図4-3(4) 検討ケース 2

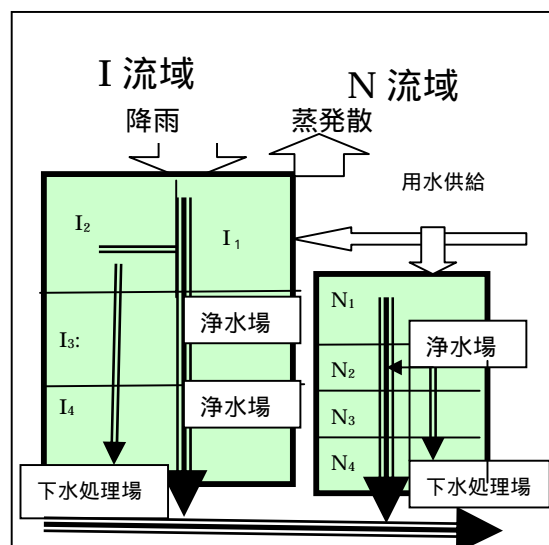


図4-3(5) 検討ケース 3

表 4-3 (1) Iモデル流域における検討ケース

I 流域	水道 (万 $\text{m}^3/\text{日}$ )			下水道 (万 $\text{m}^3/\text{日}$ )	
	検 討 ケ ー ス	給 水 量	用 水 供 給	普 及 率	還 流 水 量
	0	10	4	6	50%
	1	10	4	6	100%
	1 - 1	10	4	6	100%
	1 - 2	10	0	10	100%
	2	10	10	0	100%
	3	10	6	4	100%

表 4-3 (2) Nモデル流域における検討ケース

N流域	水道 (万 $\text{m}^3/\text{日}$ )			下水道 (万 $\text{m}^3/\text{日}$ )	
	検 討 ケ ー ス	給 水 量	用 水 供 給	普 及 率	還 流 水 量
	0	10	8	2	70%
	1	10	8	2	100%
	1 - 1	10	8	2	100%
	1 - 2	10	0	10	100%
	2	10	10	0	100%
	3	10	10	0	100%

表4 - 3(3) Iモデル流域における区間別の水道供給と取水量等の内訳

ケース	区間	人口(人)	水道給水量(m <sup>3</sup> /日)	用水供給量(m <sup>3</sup> /日)	自己水量(m <sup>3</sup> /日)	取水量(m <sup>3</sup> /日)	下水還流量(m <sup>3</sup> /日)
0	I-1	20000	8000	0	8000	40000	0
	I-2	50000	20000	10000	10000	0	0
	I-3	90000	36000	15000	21000	10000	0
	I-4	90000	36000	15000	21000	30000	0
	計	250000	100000	40000	60000	80000	0
1	I-1	20000	8000	0	8000	40000	0
	I-2	50000	20000	10000	10000	0	0
	I-3	90000	36000	15000	21000	10000	0
	I-4	90000	36000	15000	21000	30000	0
	計	250000	100000	40000	60000	80000	0
1 - 1	I-1	20000	8000	0	8000	40000	40000
	I-2	50000	20000	10000	10000	0	0
	I-3	90000	36000	15000	21000	10000	30000
	I-4	90000	36000	15000	21000	30000	30000
	計	250000	100000	40000	60000	80000	100000
1 - 2	I-1	20000	8000	0	8000	40000	40000
	I-2	50000	20000	0	20000	20000	0
	I-3	90000	36000	0	36000	30000	30000
	I-4	90000	36000	0	36000	30000	30000
	計	250000	100000	0	100000	120000	100000
2	I-1	20000	8000	8000	0	0	0
	I-2	50000	20000	20000	0	0	0
	I-3	90000	36000	36000	0	10000	0
	I-4	90000	36000	36000	0	10000	0
	計	250000	100000	100000	0	20000	0
3	I-1	20000	8000	8000	0	0	0
	I-2	50000	20000	20000	0	0	0
	I-3	90000	36000	16000	20000	30000	0
	I-4	90000	36000	16000	20000	30000	0
	計	250000	100000	60000	40000	60000	0

取水量には区間 I-3 で 10000m<sup>3</sup>/日、区間 I-4 で 10000m<sup>3</sup>/日の流域外に給水する取水を含む。

表4 - 3(4) Nモデル流域における区間別の水道供給と取水量等の内訳

ケース	区間	人口(人)	水道給水量(m <sup>3</sup> /日)	用水供給量(m <sup>3</sup> /日)	自己水量(m <sup>3</sup> /日)	取水量(m <sup>3</sup> /日)	下水還流量(m <sup>3</sup> /日)
0	N-1	70000	28000	28000	0	0	0
	N-2	60000	24000	4000	20000	20000	0
	N-3	60000	24000	24000	0	0	0
	N-4	60000	24000	24000	0	0	0
	計	250000	100000	80000	20000	20000	0
1	N-1	70000	28000	28000	0	0	0
	N-2	60000	24000	4000	20000	20000	0
	N-3	60000	24000	24000	0	0	0
	N-4	60000	24000	24000	0	0	0
	計	250000	100000	80000	20000	20000	0
1 - 1	N-1	70000	28000	28000	0	0	0
	N-2	60000	24000	4000	20000	20000	60000
	N-3	60000	24000	24000	0	0	0
	N-4	60000	24000	24000	0	0	0
	計	250000	100000	80000	20000	20000	60000
1 - 2	N-1	70000	28000	0	28000	0	0
	N-2	60000	24000	0	24000	20000	20000
	N-3	60000	24000	0	24000	40000	40000
	N-4	60000	24000	0	24000	40000	40000
	計	250000	100000	0	100000	100000	100000
2	N-1	70000	28000	28000	0	0	0
	N-2	60000	24000	24000	0	0	0
	N-3	60000	24000	24000	0	0	0
	N-4	60000	24000	24000	0	0	0
	計	250000	100000	100000	0	0	0
3	N-1	70000	28000	28000	0	0	0
	N-2	60000	24000	24000	0	0	40000
	N-3	60000	24000	24000	0	0	0
	N-4	60000	24000	24000	0	0	0
	計	250000	100000	100000	0	0	40000



#### 4 - 4 結 語

本章では、前章で構築した評価指標を用いて、次世代へ向けた上下水道システムの評価を試みるため、石川と西除川という特性の異なる2つの河川流域を選定して、I、Nの2つのモデル流域を設定し、現況システムや新たな自律分散システムなど各6ケースの上下水道システムパターンを評価の対象として設定した。

#### 第4章 参考文献

- 1) 大阪府都市整備部:一級河川大和川水系石川ブロック流域の概要について(大阪府河川整備委員会資料),2008.
- 2) 日本下水道協会:下水道統計(昭和60～平成15年度版),1987-2005.
- 3) 日本水道協会:水道統計(昭和60～平成15年度版),1987-2005.
- 4) 大阪府都市整備部:大和川水系西除川ブロック河川整備計画,2005.
- 5) 国土交通省国土計画局:国土数値情報(H9), L03-09M-27, W07-52M,2007.
- 6) 総務省統計局:地域メッシュ統計(H12),2002.
- 7) 大阪府:大阪府統計年鑑(昭和50～平成15年度版),1976-2004.
- 8) 総務省自治財政局:地方公営企業年鑑(平成15年度版)
- 9) 気象庁:気象統計情報(大阪年ごとの値),2007.

## 第5章 モデル流域でのケース別総合評価

本章では、前章で示した I 及び N の2つのモデル流域において、各6ケースの上下水道システムについて3章で示した手法により各指標値を算定し、システムの相違が各個別指標値に及ぼす影響を検討するとともに、次世代へ向けた上下水道システムの総合評価を試みた。

### 5-1 河川・流域指標

#### 5-1-1 平常時流量、水質

流域平均年間雨量、平均気温、土地利用等より各6つのケース別に3-1-1、3-1-2で示した手法で、下図に示すとおり、現況(2000)でのケース別の平時流量  $Q_0$  と河川水質(COD)を求めた。

これによれば、I、N 流域とも、ケース 1 では現状から下水道の整備が進み、水質は改善されるものの、家庭排水の流入がなくなる分、平常時流量が減じその効果は相殺される。

I 流域では、下水の処理水を河川に還流するケース1-1を含めその他のケースで平常時の流量が回復する。N 流域では、現状のシステムで下水処理水を河川に還流するケース 1-1 とケース3で平常時の流量が大幅に改善される。

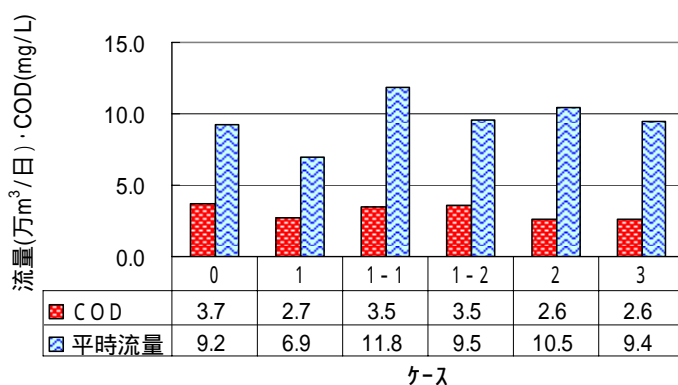


図5-1-1(1) I 流域 平常時流量および水質(COD)

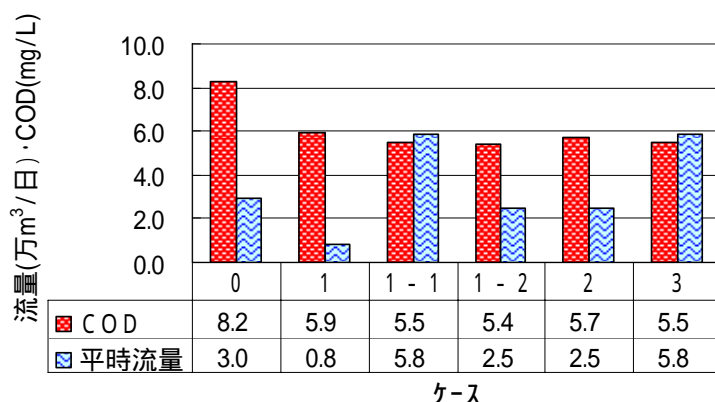


図5-1-1(2) N流域平常時流量および水質(COD)

### 5-1-2 目標流量と目標水質

河川の粗度係数 $n$ を0.03とし、各河川の各区間別の川幅、河川勾配より、第3章の表 3-1-1(3)の条件を満たすように下表のとおり、目標流量を設定した。

表5-1-2 (1) I 河川目標流量

	河川延長 (km)	河床幅 (m)	河川勾配	粗度係数	目標流量 (万 $m^3$ /日)	水位 (m)	流速 (m/s)
I 1	7	60	500	0.03	16.6	0.1	0.32
I 2	5	55	300	0.03	19.7	0.1	0.41
I 2 - I 3	9	20	250	0.03	7.8	0.1	0.45
I 3 - I 4	7	20	100	0.03	8.8	0.1	0.51

表5-1-2(2) N 河川目標流量

	河川延長 (km)	河床幅 (m)	河川勾配	粗度係数	目標流量 (万 $m^3$ /日)	水位 (m)	流速 (m/s)
N1-N2		8.5	250	0.03	3.3	0.1	0.45
N2-N3	4	16	250	0.03	6.3	0.1	0.45
N3-N4	4	19.5	300	0.03	7.0	0.1	0.41
N1-N2	4	20.5	350	0.03	6.8	0.1	0.38

### 5-1-3 平常時流量指標・水質指標

図 5-1-1(1),(2)の平常時流量と表 5-1-2 (1),(2)に示す目標流量から、第3章の式 3-1-1(2)を用いて平常時流量指標を求めた。また同様に第3章の式 3-1-1(5)より河川水質指標を求めた。

I、N 流域での河川流量・水質と各指標値の合計指標値を図 5-1-3 (1)、(2)に示す。各指標値は、流域指標を除き1年間あたりに流域内に住民が受けるリスクや被害度を金銭で評価したものであり、流域の水環境にとって望ましくない状況の程度を表したもので貨幣価値はマイナス(- 億円/年)で評価される。

これによれば、I 流域では、**ケース 2**(図 5-1-3(1))が、N 流域では**ケース 1-1**(図 5-1-3(2))が、最も高く評価される。この I、N 流域における評価の差は、I流域はN流域に比して、流域人口に対して流域面積が広いために、下水還流量に比して河川流量が豊富で下水処理水の還流効果が少ないことと、N流域の河川水質が COD 8mg/L であるのに対して、I流域の河川水質は COD 3mg/L と下水処理水の放流水質 COD が5mg/L と河川より悪いために水質指標に良い影響を与えてないことから生じている。

表5-1-3(1) I,N ケース別流量・水質指標

I 流域 ケース	水質 (mg/L)	平時流量 (万 m <sup>3</sup> /日)	水質指標 (億円/年)	流量指標 (億円/年)	N 流域 ケース	水質 (mg/L)	平時流量 (万 m <sup>3</sup> /日)	水質指標 (億円/年)	流量指標 (億円/年)
0	3.7	9.2	-3.3	-6.2	0	8.2	3.0	-3.4	-3.8
1	2.7	6.9	-1.2	-8.4	1	5.9	0.8	-0.6	-6.3
1-1	3.5	11.8	-2.7	-3.7	1-1	5.5	5.8	-3.6	-0.4
1-2	3.5	9.5	-2.5	-5.8	1-2	5.4	2.5	-1.6	-4.3
2	2.6	10.5	-1.4	-4.7	2	5.7	2.5	-1.7	-4.3
3	2.6	9.4	-1.3	-5.5	3	5.5	5.8	-3.7	-0.4

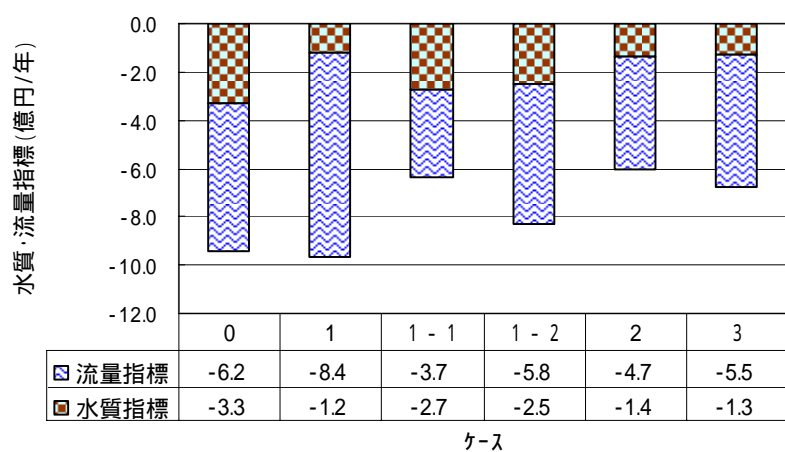


図5-1-3(1) I 流域におけるケース別平常時流量、水質指標

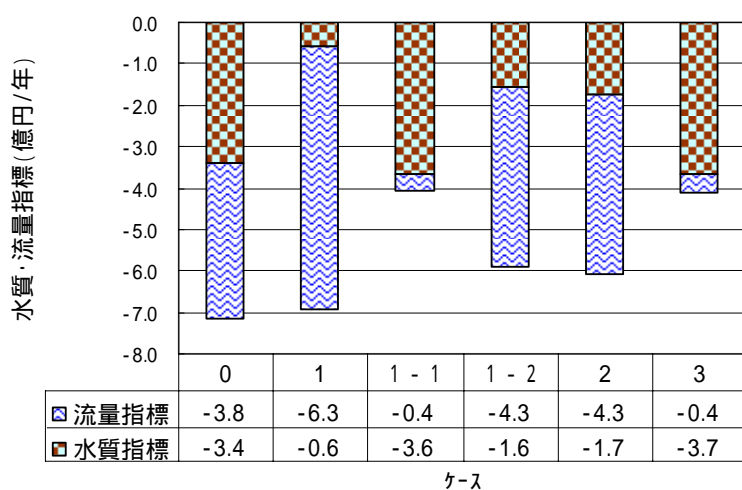


図5-1-3(2) N 流域におけるケース別平常時流量、水質指標

#### 5-1-4 洪水被害指標

GIS データ等に基づく、石川と西除川の地形、土地利用等より、I、N流域の勾配や延長を設定し、第3章の3-1-3(18)式を用いて、下表のとりの洪水被害指標  $D_f$  を算定した。

これによれば、治水レベルはI流域が高いが、指標値は逆にN流域が低くなった。これはここでは氾濫流量に対する被害額は、I、N流域で同じとしており、I流域の集水区域が大きいため洪水流量がN流域より大きいことによる。

表5-1-4(1) I、N流域の洪水流出に関する諸元と計算結果

	I 流域	N 流域
流域勾配 (I)	$I=500\text{m}/25\text{km}=1/200$	$I=200\text{m}/20\text{km}=1/100$
流域長 (L)	$L=25\text{km}$	$L=20\text{km}$
$(L/I)^{-0.491}$	0.056	0.074
都市化率 ( )	$=0.31$	$=0.65$
治水レベル ( $N_f$ )	$N_f = 20$ (年確率)	$N_f = 10$ (年確率)
$R_1 = 436(L/I)^{-0.491}$	24.4	32.29
$R_2 = 111(L/I)^{-0.491}$	6.23	8.24
算定式	$D_f = J_f \times A \times 1/3.6 (0.9 R_1 + 0.6 (1 - ) R_2) / N_f$ $J_f = 0.1$ 億円/年	
洪水被害指標 $D_f$	- 3.2 億円/年	- 2.5 億円/年

#### 5-1-5 水辺への接近度指標

石川、西除川の河川概要図等より各河川断面の諸元を計測し、式 3-1-1(19)により河川近接度を計算した(表 5-1-5(1),(2))。ここで、用地単価は河川沿川の公示価格より100千円/㎡、年間単価  $J_a$  を2千円/年/㎡(100千円/㎡/50年)とした。

表 5-1-5(1) I 河川断面諸元

	法面勾配		堤防天端幅 (m)		深さ (m)	延長 (km)	不足面積 (千㎡)
区間	左岸	右岸	左岸	右岸	H	L	
I 1	1	1	4	4	4	7	98
I 2	1	1	4	4	4	5	70
I 2 - I 3	2	2	6	6	4	9	18
I 3 - I 4	2	2	6	6	4	7	14
計						28	200

水辺への接近度指標:  $D_a = - 4.0$  億円/年

表 5-1-5(2) N 河川断面諸元

区間	法面勾配		堤防天端幅 (m)		深さ (m)	延長 (km)	不足面積 (千m <sup>2</sup> )
	左岸	右岸	左岸	右岸	H	L	
N1-N2	0.5	0.5	3	3	5.5	4	110
N2-N3	0.5	0.5	3	3	5.5	4	110
N3-N4	0.5	0.5	0	0	5	4	124
計						12	344

水辺への接近度指標:  $D_a = -6.9$  億円/年

### 5-1-6 河川自然度指標

接近度と同様に、表 5-1-6(1),(2)に示す河川非自然面積を基に、3-1-1(20)式よりI、N河川それぞれの河川自然度を計算した。

表 5-1-6(1) I 河川非自然面積

区間	非自然法面 (m)		非自然河床 (m)	延長 (km)	非自然面積 (千m <sup>2</sup> )
	左岸	右岸	Bc	L	
I 1	4	4	0	7	56
I 2	4	4	0	5	40
I 2-I 3	4.5	4.5	0	9	81
I 3-I 4	7.4	7.4	0	7	103.6
計					280.6

河川自然度指標:  $D_n = -5.6$  億円/年

表 5-1-6(2) N 河川非自然面積

区間	非自然法面 (m)		非自然河床 (m)	延長 (km)	非自然面積 (千m <sup>2</sup> )
	左岸	右岸	Bc	L	左岸
N1-N2	2.75	2.75	0	4	22
N2-N3	2.75	2.75	0	4	22
N3-N4	2.5	0	0	4	10
計					54

河川自然度指標:  $D_n = -1.08$  億円/年

### 5-1-7 自然緑地指標

第4章の表 4-2(1)に示した土地利用内訳より農地、森林面積を抜粋し、第3章の表3-1-2(1)に示す各価値原単位を用いて、式 3-1-2(1)より表 5-1-7(1)、(2)に示す自然緑地指標を算定した。

表 5-1-7(1) I 流域の自然緑地面積と指標値

I 流域	農地	森林	面積 (km <sup>2</sup> )	指標値 (億円/年)
I-1	2	26	28	4.92
I-2	3	38	41	7.23
I-3	8	35	43	9.33
I-4	12	20	32	9.12
合計	25	119	144	30.6

表 5-1-7(2) N 流域の自然緑地面積と指標値

N 流域	農地	森林	面積 (km <sup>2</sup> )	指標値 (億円/年)
N1	4	6	10	2.94
N2	2	0	2	1.02
N3	2	0	2	1.02
N4	2	0	2	1.02
合計	10	6	16	6.00

I 流域 自然緑地指標: Dna=30.6億円/年

N 流域 自然緑地指標: Dna=6.0億円/年

### 5-1-8 湖沼等水面指標

湖沼等の水質はその流域の河川水質と等しいとして3章の式 3-1-2(3)よりf(COD)を求め、式 3-1-2(2)より表 5-1-8(1)に示す湖沼等水面指標を算定した。

これによれば、I流域ではケース2,3が3.4億円/年と最も評価が高く、ケース1-2が3.2億円/年と最も評価が低くなった。これは水質の差によって生じている。

N流域においては、ケース1-1の評価が1.67億円/年と最も高く、ケース3が1.37億円/年と最も低くなった。これも水質の差によって生じている。

表 5-1-8(1) 湖沼等水面指標

ケース	I 流域	水質 COD mg/L	f(COD)	水面指標 (百万円/年)	N 流域	水質 COD mg/L	f(COD)	水面指標 (百万円/年)
0	I 1	2.9	0.95	49	N1	7.3	0.7	37
	I 2	3.6	0.92	47	N2	8.2	0.7	34
	I 3	4.1	0.89	91	N3	8.5	0.7	33
	I 4	4.6	0.86	132	N4	8.7	0.6	33
	計			318	計			137
1	I 1	2.2	0.99	50	N1	5.2	0.8	42
	I 2	2.6	0.97	49	N2	5.9	0.8	40
	I 3	2.9	0.95	97	N3	6.1	0.8	40
	I 4	3.4	0.92	141	N4	6.2	0.8	39
	計			338	計			162
1-1	I 1	4.2	0.88	45	N1	5.2	0.8	42
	I 2	2.6	0.97	49	N2	5.4	0.8	42
	I 3	3.4	0.92	94	N3	5.6	0.8	41
	I 4	3.8	0.90	138	N4	5.7	0.8	41
	計			327	計			167
1-2	I 1	4.2	0.88	45	N1	5.2	0.8	42
	I 2	3.1	0.94	48	N2	5.6	0.8	41
	I 3	3.6	0.92	93	N3	5.2	0.8	42
	I 4	3.9	0.90	137	N4	5.9	0.8	40
	計			324	計			166
2	I 1	2.2	0.99	50	N1	5.2	0.8	42
	I 2	2.6	0.97	49	N2	5.7	0.8	41
	I 3	2.8	0.96	98	N3	5.9	0.8	40
	I 4	3.2	0.94	143	N4	6.0	0.8	40
	計			340	計			164
3	I 1	2.2	0.99	50	N1	7.3	0.7	37
	I 2	2.6	0.97	49	N2	8.2	0.7	34
	I 3	2.8	0.96	98	N3	8.5	0.7	33
	I 4	3.3	0.93	142	N4	8.7	0.6	33
	計			340	計			137



### 5-1-9 河川流域指標総括

#### (1) I 流域の河川指標、流域指標

I 流域では用水供給に全て依存するケース2が有利となった(表 5-1-9(1))。これは I 河川では河川流量に比して下水処理水の流量が少ないため、ケース1 - 1では平時流量の増加の効果は確認されたが下水の放流水の水質が悪いことから水質指標が悪化した。ケース1 - 2では河川から取水することから下水処理水還流による流量増加の効果がなく、下水放流水質が河川水質より悪いために指標値が悪化した。これに対して、ケース2の場合は、下水処理水を放流しないために水質が悪化せず指標値が高く評価されたためである。

表 5-1-9(1) I 流域 河川・流域指標計算結果の総括

(単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川指標	平時流量	-6.2	-8.4	<b>-3.7</b>	-5.8	-4.7	-5.5
	洪水被害	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9
	水質	-3.3	<b>-1.2</b>	-2.7	-2.5	-1.5	-1.3
	接近度	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
	自然度	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6
小計		-21.9	-22.1	-18.9	-20.8	<b>-18.6</b>	-19.3
流域	自然面積	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6
	湖沼等水面	3.2	3.4	3.3	3.2	3.4	3.4
小計		33.8	34.0	33.9	33.8	34.0	34.0
合計		11.9	11.8	15.0	13.0	<b>15.4</b>	14.7

#### (2) N 流域の河川指標、流域指標

N 流域では河川流域指標では現状のシステムで下水処理水を河川に還流するケース1 - 1と用水供給100%として下水処理水を河川に還流するケース3が有利となった(表 5-1-9(2))。

これは、N 流域の下水人口の密度が I 流域に比して大きく、河川流量に比して下水還流水の量が多いことと河川水質が悪いことから流量および水質の改善効果が大きく、これが流量と水質指標値に差を生じさせ、I、N 流域の評価の差に表れたものである。

また、N 流域では、指標値がすべてマイナスとなったが、これはプラスで評価される流域内の自然緑地面積等に比して人口が多いために生じたものである。

表 5-1-9(2) N 流域 河川・流域指標計算結果の総括

(単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川指標	平時流量	-3.8	-6.3	<b>-0.4</b>	-4.3	-4.3	<b>-0.4</b>
	洪水被害	-2.7	-2.7	-2.7	-2.7	-2.7	-2.7
	水質	-3.4	<b>-0.6</b>	-3.6	-1.6	-1.7	-3.7
	接近度	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9
	自然度	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
小計		-17.8	-17.6	<b>-14.7</b>	-16.6	-16.7	-14.8
流域	自然面積	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	湖沼等水面	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7
小計		7.4	7.6	7.7	7.7	7.6	7.7
合計		-10.5	-10.0	<b>-7.1</b>	-8.9	-9.1	<b>-7.1</b>

## 5-2 水道指標

### 5-2-1 渇水リスク

#### (1) 流況確率と基準回復期間 ( $T_0$ )

淀川(枚方大橋)、石川(石川橋)、西除川(布忍橋)の過去20年間の流況資料を収集し<sup>1), 2)</sup>、豊水、平水、低水、渇水、最低の各流況が正規分布するとして、それぞれについて平均値( $\mu$ )、標準偏差( $\sigma$ )および確率流量を求めた。図5-2-1(1),(3),(5)示すように各流量は超過日数の一次関数で近似できる。また、この関数式から算定した取水前の最低流量および各表に示す一次式から求まる基準回復期間は、図5-2-1(2),(4),(6)に示すとおり取水前の最低流量( $Q_n(365)$ )の関数で表される。

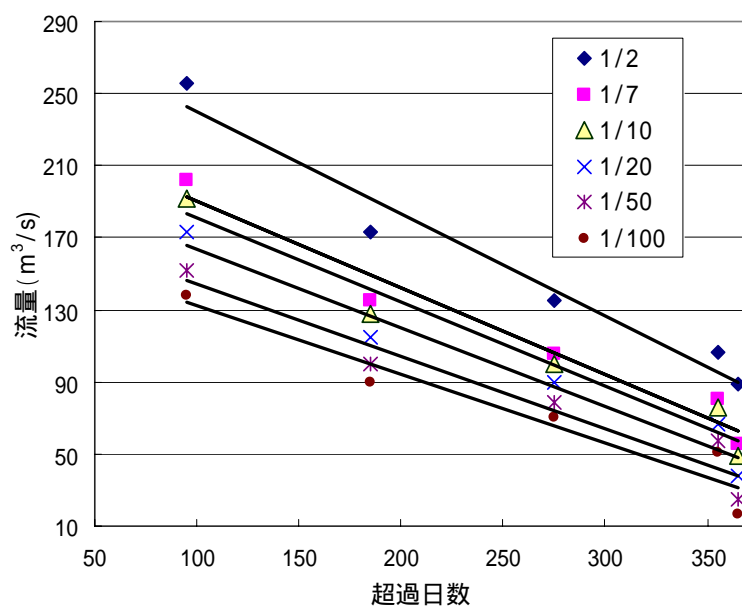


図5-2-1(1) 淀川(枚方)の各流況と確率流量の関係

表5-2-1(1) 淀川各流況の確率流量と各流況の関係式

(単位:  $\text{m}^3/\text{S}$ )

	豊水	平水	低水	渇水	最低	関係式
生起確率	95(日)	185(日)	275(日)	355(日)	365(日)	$y$ : 流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ) $x$ : 超過日数(日)
1/2	256	173.5	134.8	106.2	88.8	$y = -0.566x + 296.3$
1/7	202	135.1	105.4	80.7	55.5	$y = -0.501x + 251.2$
1/10	192	127.5	99.6	75.6	48.8	$y = -0.481x + 238.4$
1/20	173	114.4	89.5	66.9	37.4	$y = -0.467x + 227.7$
1/50	152	99.8	78.2	57.1	24.6	$y = -0.436x + 207.4$
1/100	138	90	70.7	50.6	16.1	$y = -0.402x + 185.0$
$\mu$	255.91	173.4	134.86	106.21	88.88	$y = -0.566x + 296.2$
	50.48	35.89	27.59	23.90	31.30	$y = -0.380x + 170.0$

表5-2-1(2) 淀川取水前の最低流量  $Q_{n(365)}$  ( $\text{m}^3/\text{日}$ )と基準回復期間  $T_{N0}$  (日)

生起確率	最低	渇水	低水	平水	豊水	$Q_{n(365)}$	$T_{N0}$
1/2	89.6	95.2	140.5	191.5	242.5	104.6	140
1/7	62.8	67.6	106.1	149.4	192.7	77.8	162
1/10	57.4	62.1	99.4	141.4	183.3	72.4	167
1/20	48.3	52.7	87.5	126.7	166.0	63.3	179
1/50	38.1	42.1	74.3	110.5	146.7	53.1	193
1/100	31.3	35.1	65.5	99.7	133.9	46.3	205

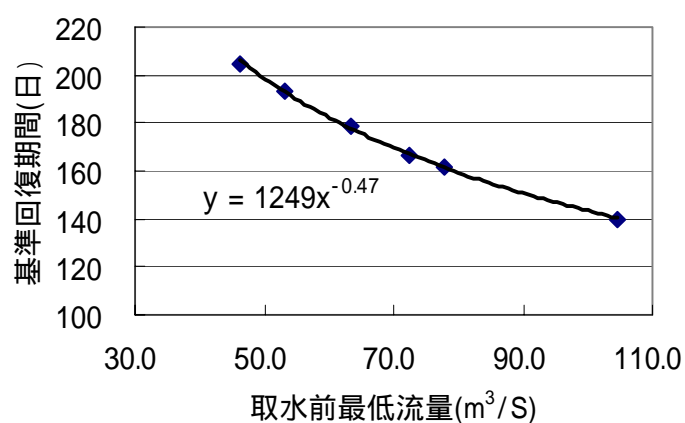


図5-2-1(2) 淀川の取水前最低流量と基準回復期間の関係

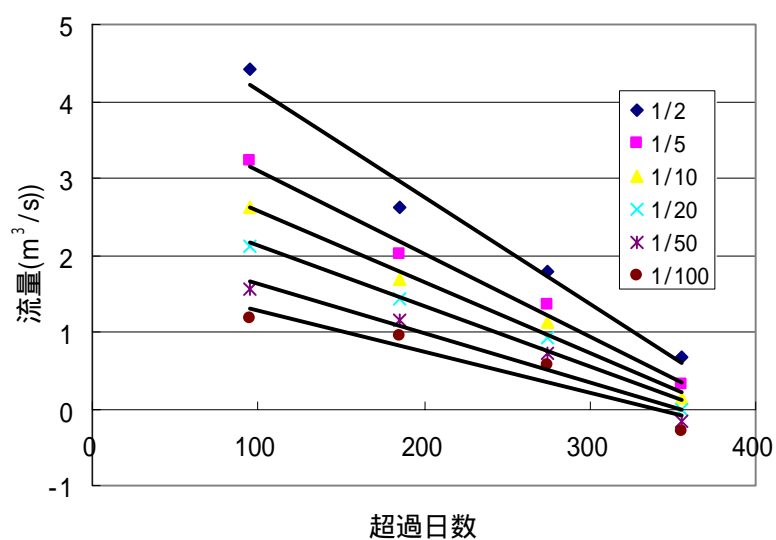


図5-2-1(3) 石川の各流況と確率流量の関係

表5-2-1(3) 石川各流況の確率流量と各流況の関係式

(単位:  $\text{m}^3/\text{S}$ )

	豊水	平水	低水	渇水	関係式
発生確率	95(日)	185(日)	275(日)	355(日)	$y$ : 流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ) $x$ : 超過日数(日)
1/2	4.41	2.62	1.79	0.66	$y = -0.0139x + 5.533$
1/5	3.24	2.01	1.35	0.316	$y = -0.0108x + 4.194$
1/10	2.63	1.69	1.12	0.14	$y = -0.0092x + 3.493$
1/20	2.12	1.43	0.93	-0.0065	$y = -0.0079x + 2.910$
1/50	1.55	1.14	0.716	-0.17	$y = -0.0064x + 2.260$
1/100	1.17	0.95	0.57	-0.28	$y = -0.0054x + 1.826$
$\mu$	4.41	2.61	1.79	0.65	$y = -0.0139x + 5.533$
	1.39	0.72	0.52	0.4	$y = -0.0037x + 1.592$

表5-2-1(4) 石川取水前の最低流量  $Q_{n(365)}$  ( $\text{m}^3/\text{日}$ )と基準回復期間  $T_{N0}$  (日)

生起確率	最低	渇水	低水	平水	豊水	$Q_{n(365)}$	$T_{N0}$ (日)
1/2	0.48	0.62	1.73	2.98	4.23	1.41	85
1/5	0.25	0.36	1.22	2.20	3.17	1.18	109
1/10	0.13	0.23	0.96	1.79	2.62	1.06	128
1/20	0.03	0.11	0.74	1.45	2.16	0.95	149
1/50	-0.08	-0.01	0.50	1.08	1.65	0.85	184
1/100	-0.15	-0.09	0.34	0.83	1.31	0.78	218

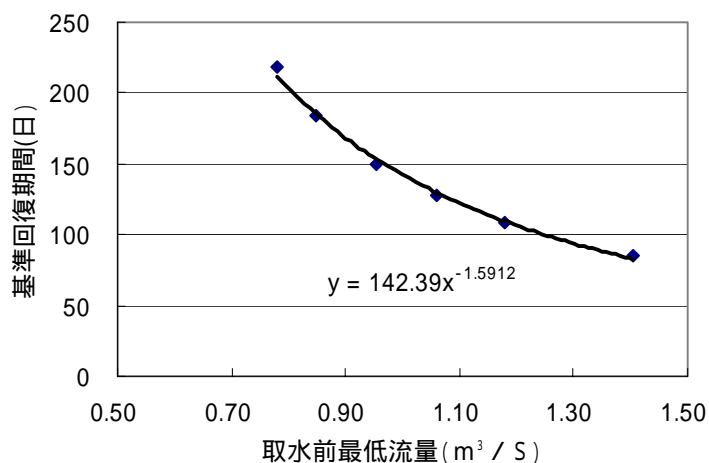


図5-2-1(4) 石川の最低流量と回復期間の関係

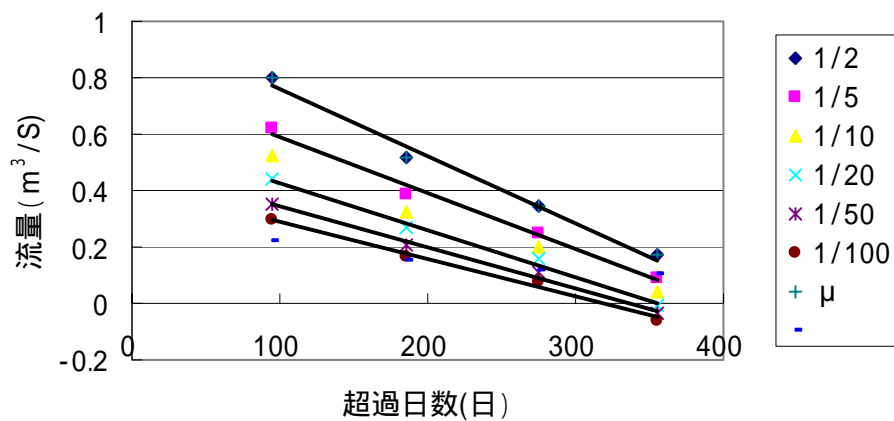


図5-2-1(5) 西除川の各流況と確率流量の関係

表5-2-1(5) 西除川各流況の確率流量と各流況の関係式 (単位: m³/S)

発生確率	豊水	平水	低水	渇水	関係式
	95(日)	185(日)	275(日)	355(日)	y:流量(m³/s)x:超過日数(日)
1/2	0.802	0.515	0.344	0.171	y=-0.0024x+0.998
1/5	0.62	0.39	0.248	0.087	y=-0.0020x+0.789
1/10	0.52	0.32	0.198	0.043	y=-0.0018x+0.680
1/20	0.44	0.27	0.157	-0.006	y=-0.0017x+0.595
1/50	0.35	0.21	0.11	-0.035	y=-0.0015x+0.488
1/100	0.29	0.17	0.079	-0.062	y=-0.0013x+0.421
μ	0.80	0.51	0.34	0.17	y=-0.0024x+0.998
	0.22	0.15	0.11	0.10	y=-0.0045x+0.239

表5-2-1(6) 西除川取水前の最低流量  $Q_{n(365)}$  (m³/日) と基準回復期間  $T_{N0}$  (日)

生起確率	最低	渇水	低水	平水	豊水	$Q_{n(365)}$	$T_{N0}$
1/2	0.12	0.15	0.34	0.55	0.77	0.35	122
1/5	0.06	0.08	0.24	0.42	0.60	0.29	147
1/10	0.02	0.04	0.19	0.35	0.51	0.26	163
1/20	-0.01	0.00	0.14	0.29	0.44	0.22	175
1/50	-0.04	-0.03	0.09	0.22	0.35	0.19	203
1/100	-0.06	-0.05	0.06	0.18	0.29	0.17	221

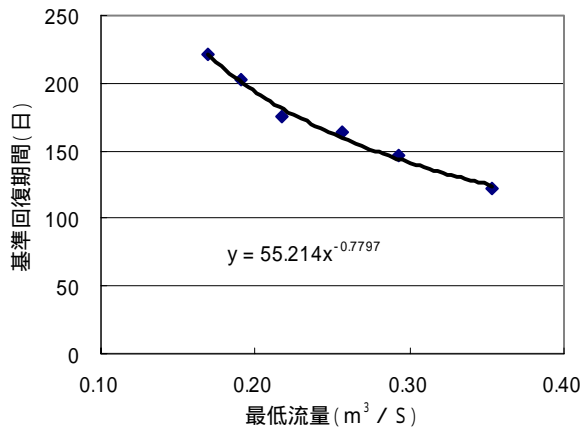


図5-2-1(6) 西除川の最低流量と回復期間の関係

## (2) 渇水被害度

### 用水供給

淀川の利水安全度 ( $1/n$ ) を  $1/7$  とし、表5-2-1(1)の関係式を用いて、最低流量  $Q_{n(365)}$ :  $62.8\text{m}^3/\text{s}$ 、最低流量の平均値  $\mu$ :  $109.6\text{m}^3/\text{s}$ 、標準偏差:  $25.1\text{m}^3/\text{s}$  を求め、淀川(磯島)からの取水量  $W_t$ :  $15\text{m}^3/\text{s}$  (村野浄水場 H15 実績) と最低流量から、取水地点安定取水可能流量  $Q_{N0}$ :  $77.8\text{m}^3/\text{s}$  を求めた。

また、基準回復期間は

$$T_{n0} = 1249 \cdot ((1 - r_{n(365)}) \times Q_{N(365)})^{-0.47}$$

最大取水制限率  $r_{n(365)}$  の平均値、標準偏差は、 $\mu_r = (1 - \mu_Q) / Q_{N(365)}$ 、 $\sigma_r = \sigma_Q / Q_{N(365)}$

で与えられることから、淀川にその水源を  $100\%$  依存する場合の水道の  $n$  年の渇水被害は3章の式3-2-1(19)、年間渇水被害リスクは式3-2-1(23)で算定できる。

また、淀川水系以外にも水源を依存する場合には、取水制限の影響が緩和されることから、その場合の淀川依存比率を  $\alpha_p$  とすると、断水率は  $r_{n(365)} \times \alpha_p$  となり、渇水が同時には生じないとすれば、 $n$  年の渇水被害額は、次式であらわされる。

$$DL(n) = \frac{a}{b} \times e^{-b \cdot q_0 (1 - \frac{1}{\gamma \cdot T_{n0}})} \times \left\{ e^{b \cdot q_0 \cdot \alpha_p \cdot r_{n(365)}} - 1 \right\} \times \frac{1}{e^{(b \cdot q_0 / (\gamma \cdot T_{n0}) - 1)} - 100 \times \alpha_p \cdot r_{n(365)}} \cdot \frac{\gamma \cdot T_{n0}}{b} \cdots 5-2-1(1)$$

ここに、 $a, b$ : 定数、 $q_0$ : 一人一日当たり標準給水量 ( $\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ )、 $\alpha_p$ : 淀川依存比率、 $T_n = \gamma \cdot T_{n0}$

$r_{n(365)}$ :  $n$  年の最大給水制限率である。

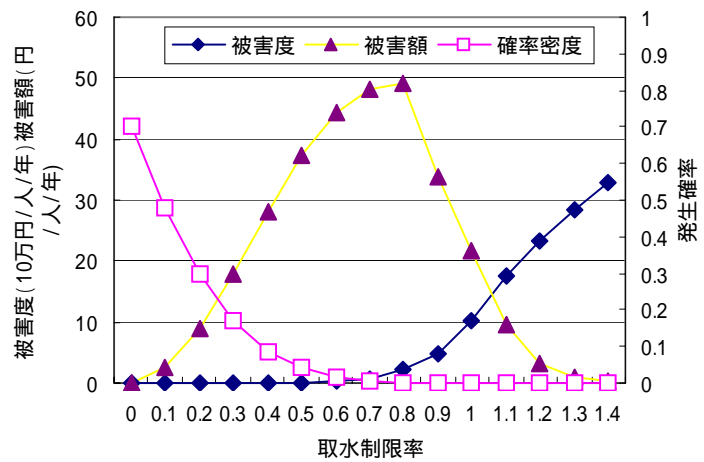


図5-2-1(7) 淀川取水制限率と被害度 (依存率100%)

この関係式を用いて、淀川依存比率1(100%)、0.8(80%)、0.4(40%)として、最大取水制限率と被害度の関係を求めたのが、図5-2-1(7)、(8)、(9)である。また、最低流量の $\mu$ 、より求まる制限率の発生確率から、ケース毎の用水供給の寄与度を加味して渇水による年間被害額の期待値を求めると表5-2-1(7)のようになる。

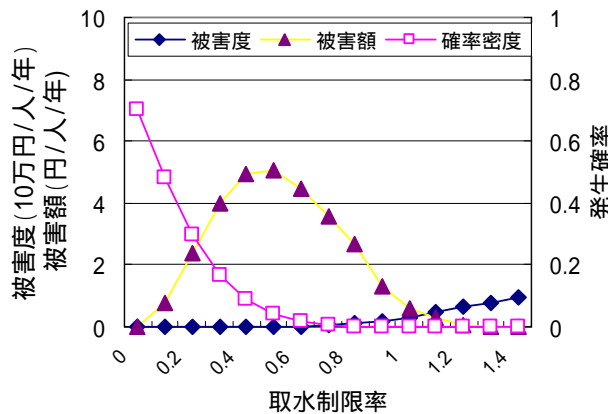


図5-2-1(8) 淀川取水制限率と被害度  
(依存率40%)

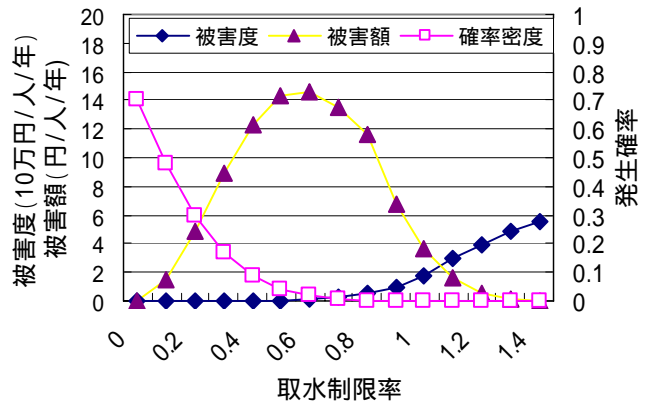


図5-2-1(9) 淀川取水制限率と被害度  
(依存率80%)

表5-2-1(7) ケース別用水供給渇水被害額

淀川 ケース	I 流域		N 流域	
	年間被害額 (百万円/年)	淀川寄与度	年間被害額 (百万円/年)	淀川寄与度
0	2	0.4	24	0.8
1	2	0.4	24	0.8
1-1	2	0.4	24	0.8
1-2	0	0	0	0
2	76	1.0	76	1.0
3	8	0.6	76	1.0

#### 自己水

石川の利水安全度:1/5として、表7-2-1(8) 石川取水前の最低流量  $Q_{N(365)}$ :  $1.18\text{m}^3/\text{s}$  を基準年の安定取水流量(基本最低流量)  $Q_{N0(365)}$ とした。また、表5-2-1(3)で示した関係式より、石川取水後の最低流量の平均値  $\mu(1/5)$ :  $0.46\text{m}^3/\text{s}$ 、標準偏差  $(1/5)$ :  $0.24\text{m}^3/\text{s}$  を求め、現状での取水量( $0.93\text{m}^3/\text{s}$ )を加味して、現状(ケース0)の取水前の平均値  $Q_{\mu}$ :  $1.39\text{m}^3/\text{s}$ 、標準偏差  $Q(1/5)$ :  $0.24\text{m}^3/\text{s}$ を設定した。なお、 $Q(1/5)$ は取水前後で変化はないものとした。

各検討ケースの最低流量平均値の算定は、下水道の整備による未処理水の流入の減( $Q_{Ws} \times 0.5$ )



や下水処理水の還流水を増して、表5-2-1(8)に示すとおり設定した。なお流況変化に伴う標準偏差Qは変動しないものとし、利用可能な下水道還流量の最大値は水道供給水量の90%とした。また、石川では流域外へ供給する取水( $\text{m}^3/\text{s}$ )が行われており、それも考慮した。

同様に西除川の利水安全度を1/5として、最低流量平均値等を求めた結果を表5-2-1(9)に示す。以上のデータをもとに、ケース毎の自己水寄与度を加味して湧水による年間被害額の期待値を求めると湧水被害度は表5-2-1(10)となる。

表5-2-1(8) I 流域ケース別の各計算諸元

単位: 流量  $Q(\text{m}^3/\text{s})$

ケース	$Q_{N(365)}$	$QW_s$	$QW_t$	$Q_{\mu(1/5)}$	$Q_{(1/5)}$	$W_s$	$s$
0	1.18	1.16	0.93	1.39	0.24	0.60	0.50
1	1.18	1.16	0.93	0.81	0.24	0.60	1.00
1-1	1.18	1.16	0.93	1.83	0.24	0.60	1.00
1-2	1.64	1.16	1.39	2.04	0.24	1.00	1.00
2		1.16	0.00			0.00	1.00
3	0.95	1.16	0.69	0.81	0.24	0.40	1.00

QN:安定取水可能流量、 $QW_t$ :水道取水量、 $QW_s$ :水道給水量、 $Q_{\mu(1/5)}$ :取水前最小流量平均値、 $W_s$ :自己水率、 $s$ :下水道整備比、

表5-2-1(9) N 流域ケース別の各計算諸元

単位: 流量  $Q(\text{m}^3/\text{s})$

ケース	$Q_{N(365)}$	$QW_s$	$QW_t$	$Q_{\mu(1/5)}$	$Q_{(1/5)}$	$W_s$	$s$
0	0.29	1.16	0.23	0.36	0.08	0.20	0.70
1	0.29	1.16	0.23	0.02	0.08	0.20	1.00
1-1	0.29	1.16	0.23	0.63	0.08	0.20	1.00
1-2	1.22	1.16	1.16	1.04	0.08	1.00	1.00
2		1.16	0.00			0.00	1.00
3		1.16	0.00	0.43	0.08	0.00	1.00

表5-2-1(10) I,N 流域ケース別の自己水寄与率と年間被害額 (被害額単位: 百万円/年)

ケース	I 流域		N 流域	
	年間被害額	自己水割合	年間被害額	自己水割合
0	3	0.6	1	0.2
1	312	0.6	179	0.2
1-1	0	0.6	0	0.2
1-2	1	1.0	191	1.0
2	0	0.0	0	0.0
3	33	0.4	0	0.0

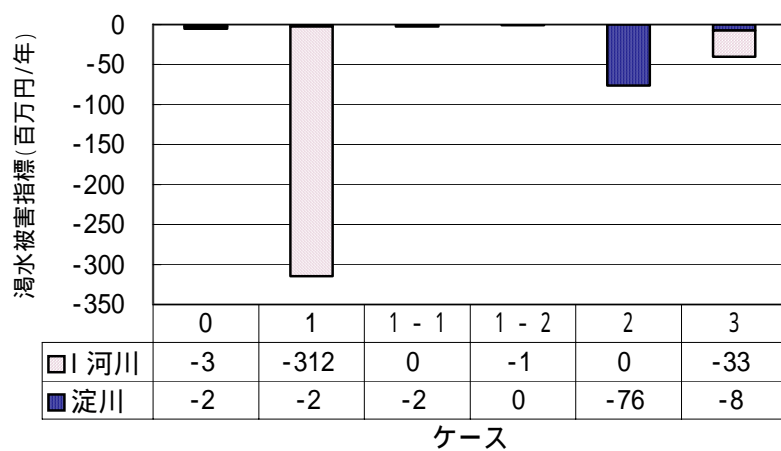


図5-2-1(10) I 流域における渇水被害指標

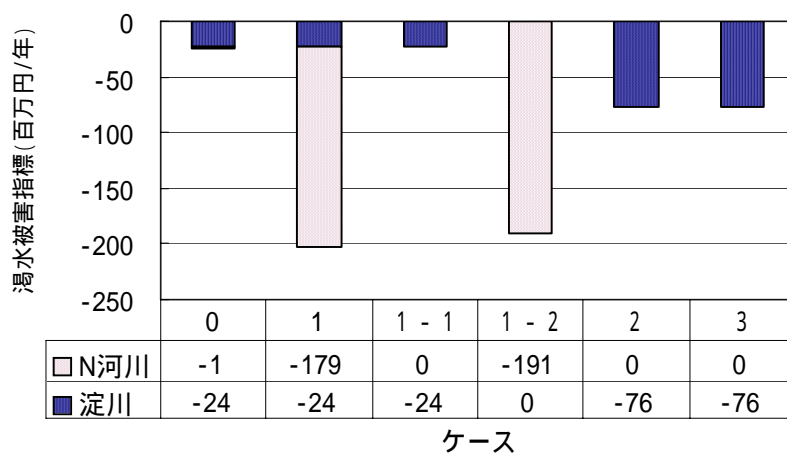


図5-2-1(11) N 流域における渇水被害指標

#### 渇水被害度

用水供給と自己水を合わせた渇水被害指標は図5-2-1(10)、図5-2-1(11)のとおりである。

これによれば、現状システムが今後とも継続するケース1は、今後、下水道が完備することにより河川への流入量が減じ、その影響により渇水被害額が大きくなる。特に、自己水に依存する割合の高い流域では、その影響は大きい。

また、N 流域においては、自己水に100%依存するケース1-2では、河川流量が極端に減少するため、下水処理水を活用してもなお渇水被害額は大きなものとなる。

## 5-2-2 平常時事故断水被害指標

### (1) 流域の配管構成

配管延長については H15 水道統計より大阪府内 42 市町村水道事業体の給水人口当たりの管路延長と人口密度の関係を求め、モデル給水区域人口密度と配管密度の関係式と面積から配管延長を設定した。

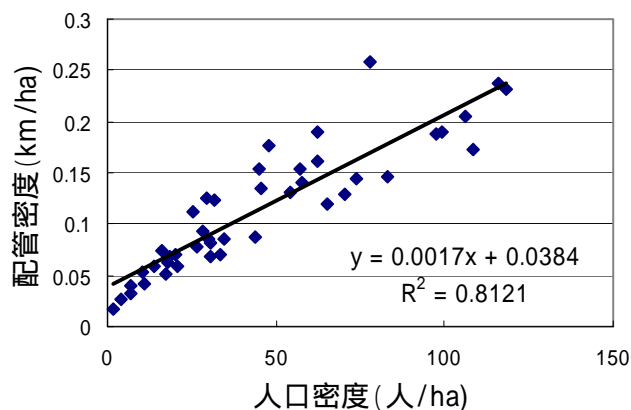


図5-2-2(1) 人口密度と配管密度

なお配管管径については、府内水道事業体の規模別の管径構成を求めて下表の通り設定した。管種については、大阪府水道地震対策方針<sup>3)</sup>でまとめられた大阪府内市町村(平成6年度年末)の管径別管種延長を基に管径ごとに配分した。

以上から I、N 流域モデル内の配管構成は、表5-2-2(2),(3)の通り設定した。

用水供給配管については大阪府営水道送水管の実態を基に表5-2-2(4)のように設定した。

表5-2-2(1) 給水規模別管径割合

給水規模	50 ~ 100	150 ~ 250	300 ~ 500	600 ~ 700	800 ~ 900	1000 以上
30 万 m <sup>3</sup> 以上	0.14	0.60	0.17	0.03	0.02	0.04
10 万 ~ 30 万 m <sup>3</sup>	0.49	0.37	0.12	0.01	0.00	0.00
5 万 ~ 10 万 m <sup>3</sup>	0.50	0.38	0.11	0.01	0.00	0.00
3 万 ~ 5 万 m <sup>3</sup>	0.53	0.37	0.09	0.01	0.00	0.00
1 万 ~ 3 万 m <sup>3</sup>	0.59	0.32	0.09	0.00	0.00	0.00
1 万 m <sup>3</sup> 以下	0.63	0.32	0.04	0.00	0.00	0.00

表5-2-2 (2) I 流域モデル配管構成

(単位: km)

I モデル	ダクタイル鋳鉄管		鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計
管径	耐震型	その他						
50～100	20	336	4	85	221	11	29	706
150～250	18	308	2	94	14	0	9	446
300～500	4	69	1	27	0	0	1	102
600～700	0	6	0	1	0	0	0	7
800～900	0	1	0	0	0	0	0	1
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	42	720	8	207	235	11	39	1263

表5-2-2 (3) N 流域モデル配管構成

(単位: km)

N モデル	ダクタイル鋳鉄管		鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計
管径	耐震型	その他						
50～100	10	171	2	43	112	6	15	359
150～250	8	137	1	42	6	0	4	198
300～500	2	36	1	14	0	0	1	53
600～700	0	1	0	0	0	0	0	1
800～900	0	0	0	0	0	0	0	0
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	20	344	4	99	118	6	19	611

表5-2-2 (4) 用水供給管の構成

管路延長(km)	管径(mm)	管種	本数
30	2000	ダクタイル鋳鉄管	3本

## (2) I 流域平常時事故断水被害

表5-2-2(2)の配管構成を基に、第3章3-2-1(2)で示した手法により、事故件数(表5-2-2(5))と被害額を計算した。表5-2-2(6)は、I流域内の配管による事故被害被害額、表5-2-2(7)はI流域に送水する用水供給管の事故被害額を示す。これらを集計した平常時事故断水被害額を図5-2-2(2)に示す。

表5-2-2(5) I 流域通常時事故件数

(単位:件/年)

管径	ダクタイル 鋳鉄管	鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計	管径補正
50～100	7	0	17	77	3	12	117	186.50
150～250	7	0	19	5	0	3	34	33.78
300～500	1	0	5	0	0	0	7	5.86
600～700	0	0	0	0	0	0	0	0.08
800～900	0	0	0	0	0	0	0	0.01
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0.00
合計	15	0	41	82	3	16	158	226

表5-2-2(6) I 流域通常時事故断水被害額

管径(mm)	平均管径 (mm)	流量比	給水人口 (人)	工事期間 (日)	影響人日 (人×日)
50～100	75	0.000681	62.5	93.25	5829.9
150～250	200	0.008984	980.4	16.89	16559.1
300～500	400	0.055612	6857.1	5.86	40206.1
600～700	650	0.199396	26782.2	0.15	4097.5
800～900	850	0.403762	56857.4	0.02	1298.1
1000以上	1200	1	149642.5	0.00	72.9
合計				116.2	68063.6
事故被害率: 1/10					6806.4
断水被害額: 33000 円/人・日					年間被害額: 224.6 百万円

表5-2-2 (7) 用水供給の事故断水被害額

管径 (mm)	ダクタイル (km)	事故件数	断水期間 (日)	影響人数 (人)	影響人日 (人×日)	年間被害額 (百万円)
2000	30	0.06	0.18	83333	1500	49.5
	管径補正: 0.1			影響割合 (1/3)	事故被害 率(1/10)	

表5-2-2 (8) I 流域ケース別用水供給被害影響額

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
受水比率	0.4	0.4	0.4	0	1	0.6
断水被害額(百万円/年)	19.8	19.8	19.8	0.0	49.5	29.7

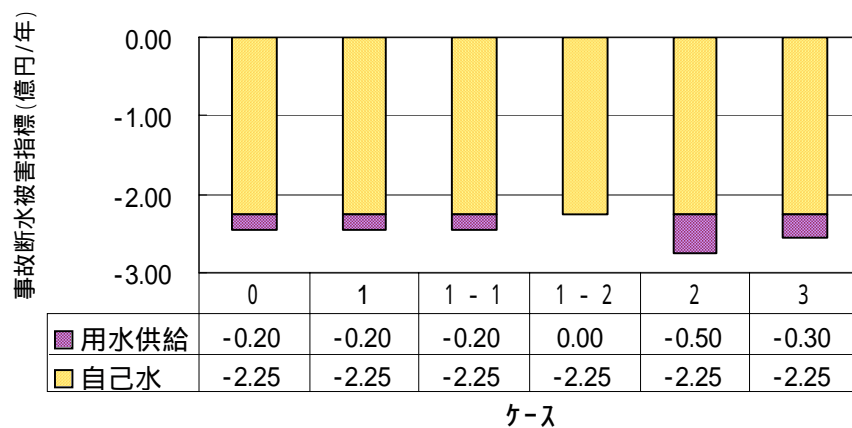


図5-2-2(2) I 流域平常時事故被害指標

(3) N 流域平常時事故断水被害

表5-2-2(3)の配管内訳を基に I 流域と同様に N 流域の事故件数(表5-2-2(9))と被害額を計算した。表5-2-2(10)は、N 流域内の配管による事故被害、表5-2-2(11)は N 流域に送水する用水供給管の事故被害額を示す。これらを集計した平常時事故断水被害指標を図5-2-2(3)に示す。

表5-2-2(9) N 流域通常時事故件数

(単位:件/年)

管径	ダクタイル 鋳鉄管	鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計	管径補正
50～100	4	0	9	39	2	6	59	94.66
150～250	3	0	8	2	0	2	15	15.01
300～500	1	0	3	0	0	0	4	3.05
600～700	0	0	0	0	0	0	0	0.01
800～900	0	0	0	0	0	0	0	0.00
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0.00
合計	7	0	20	41	2	8	78	113

表5-2-2(10) N 流域通常時事故断水被害

管径(mm)	平均管径 (mm)	流量比	給水人口 (人)	工事期間 (日)	影響人日 (人×日)
50～100	75	0.000681	62.5	47.33	2959.2
150～250	200	0.008984	980.4	7.50	7356.4
300～500	400	0.055612	6857.1	3.05	20895.7
600～700	650	0.199396	26782.2	0.02	445.3
800～900	850	0.403762	56857.4	0.01	377.3
1000 以上	1200	1	149642.5	0.00	0.0
合計				57.9	32033.9
事故被害率: 1/10					3203.4
断水被害額: 33000 円/人・日					年間被害額: 105.7 百万円

表5-2-2(11) N 流域ケース別用水供給被害影響額

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
受水比率	0.8	0.8	0.8	0	1	1
断水被害額(百万円/年)	39.6	39.6	39.6	0.0	49.5	49.5

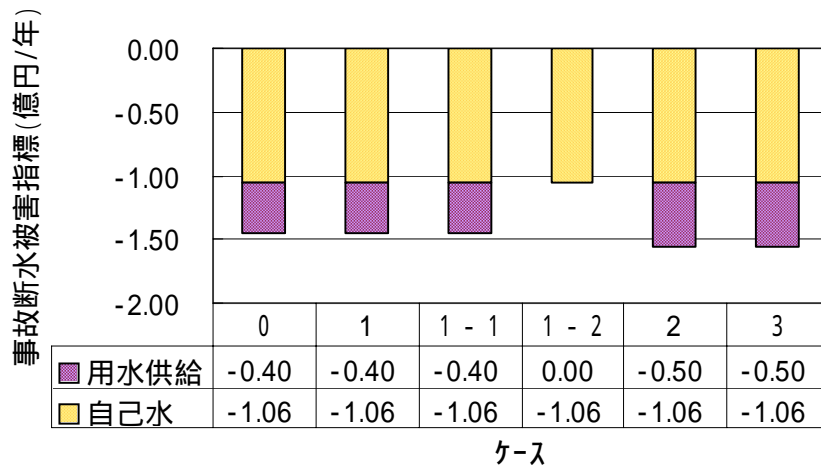


図5-2-2(3)N 流域 平常時事故被害指標

### 5-2-3 地震断水被害指標

#### (1) 初期断水率

第3章3-2-1(3)で示した手法により地震時の事故件数及び初期断水率を求めた(表5-2-3(1))。  
 なお、 $C_p, C_d$  は表5-2-2(2)、(3)のI及びN流域の配管口径、管種別内訳より、表3-2-1(7)、(9)を用いて、管路延長比の加重平均により求めた。  
 また、地盤性状は良質土、液状化はなしとして  $C_g$  は0.4、 $C_1$  は1とした。  
 地震の最大化速度は500galとして式3-2-1(29)より  $R( )$  を求めた。

表5-2-3(1) 地震断水率

	N 流域	I 流域	用水供給	単位
地震被害率: $R_m( ) =$	0.13	0.12	0.0092	件 / km
管種別被害係数: $C_p =$	0.61	0.61	0.30	
地盤性状別被害係数: $C_g =$	0.40	0.40	0.40	
管径別被害係数: $C_d =$	1.33	1.32	0.20	
液状化係数: $C_1 =$	1	1	1	
標準被害率: $R( ) =$	0.38	0.38	0.38	件 / km
地震最大加速度 =	500	500	500	Gal
事故件数 $Y_i =$	76.89	155	0.28	件/地震
初期断水率 $D_i =$	0.43	0.42	0.01	

#### (2) 地震断水被害額

第3章の式3-2-1(30)より復旧期間  $L_d$  を求め式3-2-1(26)よりI流域内の管路被災による地震被害額を算定した。  
 また、同様に用水供給管路の復旧期間を求め、用水供給通水後のI流域内の断水による被害額  $D_{p2}$  と通水前の用水供給断水による被害額  $D_{p1}$  を算定した。

表5-2-3(2) I、N流域内及び用水供給管路被災被害額

	被害 件数	復旧期間 $L_d$ (日)	初期断水率	延べ断水 人口(人・日)	総被害額 (百万円)	年間被害額 (百万円/年)
I流域内管路	155	15.5	0.42	812910	26826	537
N流域内管路	77	7.7	0.43	412521	13613	272
用水供給	0.28	0.83	0.01	207895	6861	137

式3-2-1(31)より、ケース別の用水供給受水率 を用いて次式(式5-2-3(1))よりI、N流域地震断水被害額を求め指標とした。



$$Dpa = 137 \times \quad + 537 \times \quad^2 + 537 \times (1 - \quad^2) \times (1 - \quad) \quad \cdots 5-2-3(1)$$

ここで、 $\quad$  は全復旧期間に対する用水供給復旧後復旧期間の比で

$$\quad^2 = ((15.5 - 0.83) / 15.5)^2 = 0.90 \quad \text{で計算される。}$$

それらの結果を表5-2-3(3),(4)、図5-2-3(1),(2)に示す。これによれば I、N どちらも用水供給の被害が影響しない自己水100%のケース1-2が最も高く評価された。

表5-2-3(3) I流域の地震断水被害額

(単位:百万円/年)

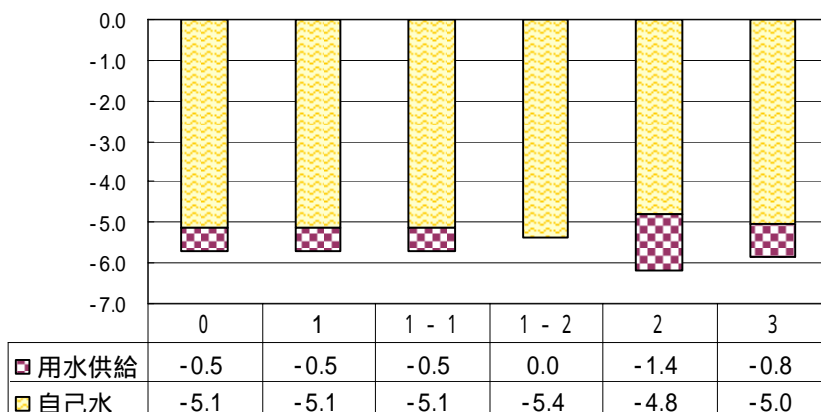
ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
受水比率:	0.4	0.4	0.4	0.0	1.0	0.6
用水供給被害額: Dp1	55	55	55	0	137	82
流域内被害額: Dp2・ $\quad^2$	480.5	480.5	480.5	480.5	480.5	480.5
Dp2・ $(1 - \quad^2) \times (1 - \quad)$	33.6	33.6	33.6	56.0	0.0	22.4
計	569.0	569.0	569.0	536.5	617.7	585.2

表5-2-3(4) N流域の地震断水被害額

(単位:百万円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
受水比率:	0.8	0.8	0.8	0.0	1.0	1.0
用水供給被害額: Dp1	110	110	110	0	137	137
流域内被害額: Dp2・ $\quad^2$	216.6	216.6	216.6	216.6	216.6	216.6
Dp2・ $(1 - \quad^2) \times (1 - \quad)$	11.1	11.1	11.1	55.7	0.0	0.0
計	337.5	337.5	337.5	272.3	353.8	353.8

地震断水被害指標 (億円/年)



ケース

図5-2-3(1) I流域の地震断水被害指標

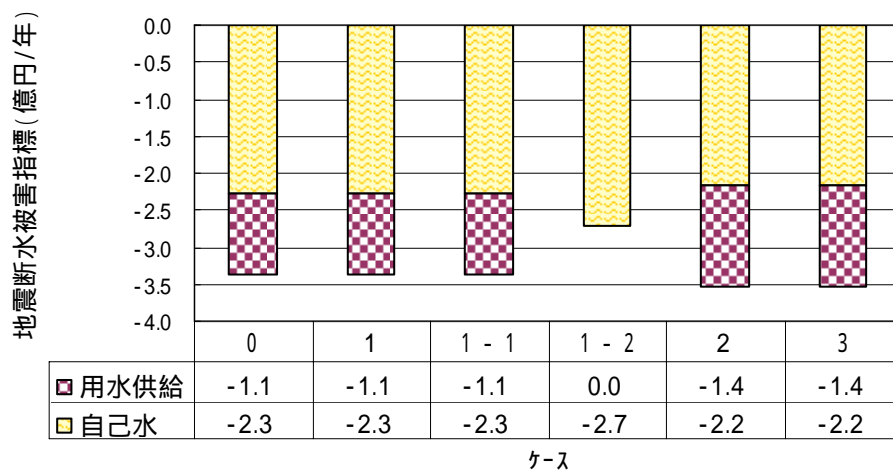


図 5 -2-3(2) N 流域の地震断水被害指標

#### 5-2-4 水質安全性(発がん・クリプトスポリジウム被害)指標

##### (1) 発がんリスク

自己水の原水水質条件は、用水供給と同一とし、用水供給は高度処理、自己水は通常処理によりそれぞれ供給されるものとした。

表5-2-4(1)を基に、各検討ケースごとの通常処理と高度処理の割合より、発がんリスクを計算した(表5-2-4(2)、(3))。

表5-2-4(1) 淀川及び自己水源による発がんリスク

発がんリスク ( $\times 10^{-5}$ )		原水	通常処理	高度処理
	プロモジクロロメタン	0	0.08	0.01
	ジクロロ酢酸	0	0.28	0
	臭素酸	0	0	0.4
DALYs( $\times 10^{-6}$ /年)		0	0.46	0.52
一人当たり年間リスク(円/人)		0	4.6	5.2
流域全体リスク(百万円/年)		0	1.15	1.3

表5-2-4(2) 流域の発がんリスク

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
通常処理水量(万m <sup>3</sup> /日)	6	6	6	10	0	4
高度処理水量(万m <sup>3</sup> /日)	4	4	4	0	10	6
発がんリスク(百万円/年)	1.21	1.21	1.21	1.15	1.3	1.24

表5-2-4(3) N流域の発がんリスク

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
通常処理水量(万m <sup>3</sup> /日)	8	8	8	10	0	0
高度処理水量(万m <sup>3</sup> /日)	2	2	2	0	10	10
発がんリスク(百万円/年)	1.27	1.27	1.27	1.15	1.3	1.3

## (2) クリプトスポリジウムリスク

用水供給の原水に含まれる個数は、表5-2-4(4)で示すとおり淀川での実績濃度0.82個/10Lを用いる。自己水の原水も同濃度とし、表5-2-4(6),(7)に示すとおり、各ケース別に各河川区間ごとの下水処理水と河川水の混合比及び用水供給水との比率から、クリプトスポリジウム被害額を計算した。

なお、文献<sup>4)</sup>によれば「全国67ヶ所の下水処理施設におけるオーシストの調査では処理水中のオーシスト数は0.05～1.6 個/L であったとされている。この数値に、河川における希釈率(10 倍)を加味すれば概ね 1 個/10L 以下と推測される。また同調査における河川水でのオーシスト数は0.05～3.2 個/L で(最大値の3.2 個/L は越生町におけるクリプトスポリジウム集団感染直後の越辺川の値で、これを除くと最大値は0.1 個/L)、両者のデータはよく符合する。」とされており、ここでは、下水処理水のクリプトスポリジウムオーシスト濃度を河川水の10倍の8.2個/10Lとした(表5-2-4(5))。

表5-2-4(4) 河川原水によるクリプトスポリジウム被害額

浄水	原水	通常処理水	高度処理水	
クリプトスポリジウム(個数/10L)	0.82	0.0082	0.000082	
DALYs( $\times 10^{-6}$ /年)	123	1.23	0.0123	
一人当たり年間リスク(円)	1230	12.3	0.123	10 百万円/人/年

表5-2-4(5) 下水処理水によるクリプトスポリジウム被害額

下水処理水	原水	通常処理水	高度処理水	
クリプトスポリジウム(個数/10L)	8.2	0.082	0.00082	
DALYs( $\times 10^{-6}$ /年)	1230	12.3	0.123	
一人当たり年間リスク(円)	12300	123	1.23	10 百万円/人/年

表5-2-4(6) I流域のケース別クリプトスポリジウム被害額 (単位:百万円/年)

区間	I-1	I-2	I-3	I-4	計
ケース 0	0.2	0.3	0.6	0.6	1.9
ケース 1	0.2	0.3	0.6	0.6	1.9
ケース 1-1	6.8	0.0	0.0	2.2	9.0
ケース 1-2	6.8	0.6	2.2	2.3	11.9
ケース 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ケース 3	0.0	0.0	0.6	0.6	1.2

表5-2-4(7) N流域のケース別クリプトスポリジウム被害額 (単位:百万円/年)

区間	I-1	I-2	I-3	I-4	計
ケース 0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6
ケース 1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6
ケース 1-1	0.0	4.6	0.0	0.0	4.7
ケース 1-2	0.0	3.2	9.5	10.4	23.1
ケース 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ケース 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### (3) 発がん・クリプトスポリジウム被害指標

図5-2-4(1)、(2)に発がんとクリプトスポリジウム被害を合計した指標を示す。

これによれば、下水処理水の混入割合が大きな I 流域のケース1-1と通常処理の自己水に依存する IN 流域のケース1-2でクリプトスポリジウムの被害が大きい結果となった。

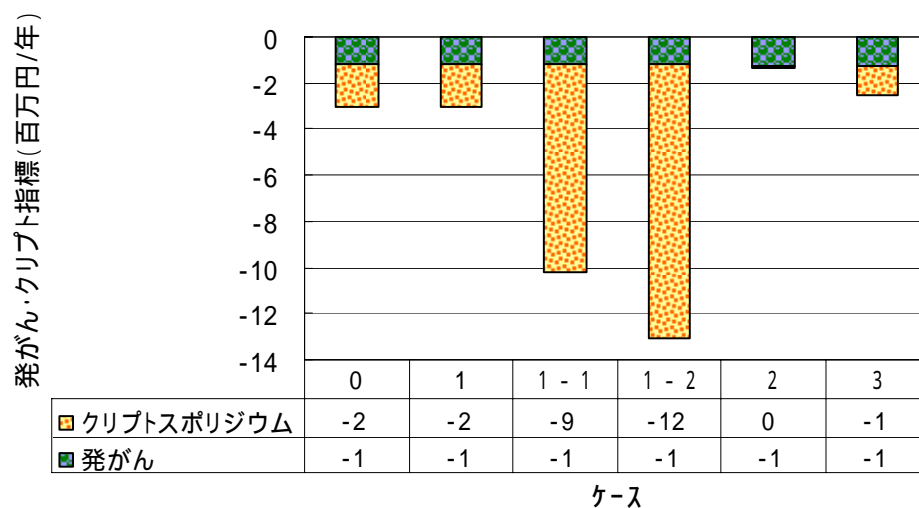


図5-2-4(1) I流域の発がん・クリプトスポリジウム被害指標

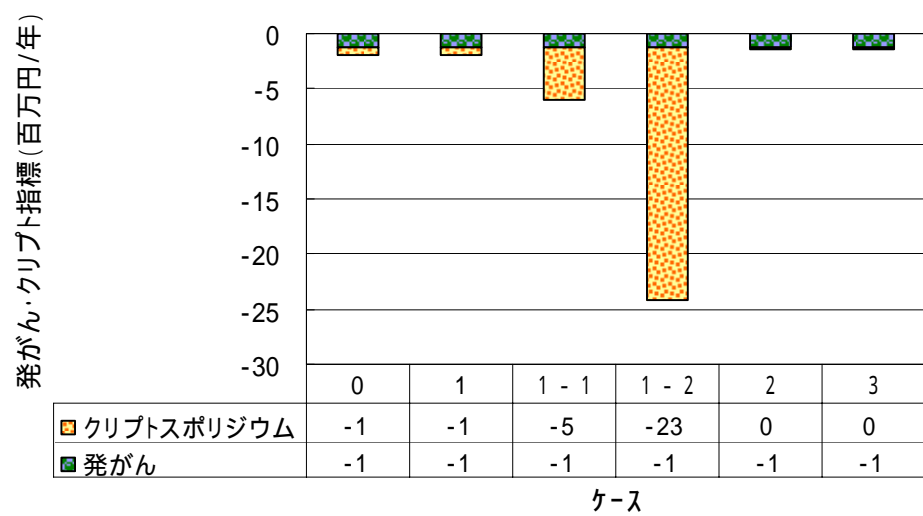


図 5 -2-4 (2) N 流域の発がん・クリプトスポリジウム被害指標

### 5-2-5 非飲用指標

#### (1)非飲用被害指標の計算

I,N 両モデル流域における各シナリオのケース別の河川水質 COD から  $\text{KMnO}_4$ 消費量に変換し、3章の3-2-2(4)式より水道水非直接飲用率を求め、非飲用費用原単位  $J_d$ :10千円/人/年として3-2-2(5)式により非飲用費用指標を求めた。ただし、用水供給の水質は、府営水道の実績より、 $\text{KMnO}_4$ :1mg/Lとした。また COD から  $\text{KMnO}_4$ 消費量への変換比は淀川原水の実績から0.6とし、 $\text{KMnO}_4$ 消費量の最大値と平均値の比は府内浄水場の実績値を基に1.6とした。

#### (2)計算結果

計算結果を図5-2-5(1)に示す。これによれば、I、N流域とも自己水に100%依存するケース1-2が最も非飲用指標値が悪く、用水供給に100%依存するケース2が最も良い結果となった。

これは、自己水が沈澱・ろ過という通常処理であるのに対して、用水供給は、オゾン活性炭処理を加えた高度処理であり、有機物の除去率がより高いことに起因する。

また、ケース1-2でみられたI流域とN流域の差は、河川水質の違いにより生じている。その他のケースにおけるI、N流域の差は自己水割合とその水質条件の違いにより生じている。

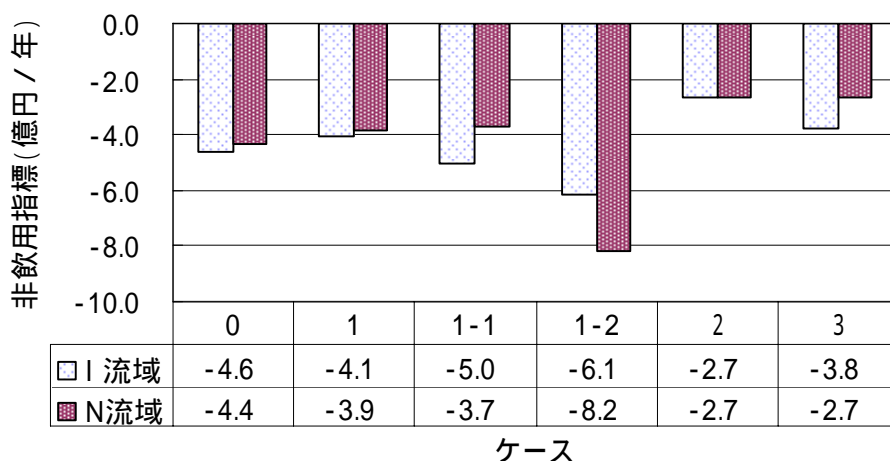


図5-2-5(1)IN流域の非飲用費用指標

### 5-2-6 水質事故指標

給水人口:  $P=25$ 万人、需要水量:  $q_0$ /日/人  $\times 1$ 日  $\times 25$ 万人 =  $10$ 万 $\text{m}^3$ /日

制限水量: 用水供給量 + 配水地容量 (万 $\text{m}^3$ /日)

制限率  $wt$ : 制限水量/需要水量

配水池容量(12時間分):  $10$ 万 $\text{m}^3 \times (12/24) = 5$ 万 $\text{m}^3$ /日

とすると、3章の式 3-2-2(8)から表5-2-6(1),(2)に示すとおり水質事故指標が計算される。これによれば、I、N流域とも12時間分の配水池の効果により、水質事故の影響はほとんどないという結果となった。

表 5-2-6(1) I 流域の水質事故指標

I 流域:配水池容量 12 時間、P(人口)=250000 人					円/人/日	百万円/回	百万円/年
ケース	用水供給	自己水源	制限水量	制限率	被害額	被害総額	年間被害
0	4	6	0	0	0	0	0.00
1	4	6	0	0	0	0	0.00
1 - 1	4	6	0	0	0	0	0.00
1 - 2	0	10	0	0	0	0	0.00
2	10	0	5	0.5	381	95.16	5.71
3	6	4	0.1	0.01	0.418	0.104	0.01

表 5-2-6(2) N 流域の水質事故指標

N 流域:配水池容量 12 時間、P(人口)=250000 人					円/人/日	百万円/回	百万円/年
ケース	用水供給	自己水源	制限水量	制限率	被害額	被害総額	年間被害
0	8	2	3.00	0.30	60.43	15.11	0.91
1	8	2	3.00	0.30	60.43	15.11	0.91
1 - 1	8	2	3.00	0.30	60.43	15.11	0.91
1 - 2	0	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10	0	5.00	0.50	381	95.16	5.71
3	10	0	5.00	0.50	381	95.16	5.71

### 5-2-7 水道指標の総括

水道指標に関する項目を総合すると図5-2-7(1)、(2)に示す通りとなる。

これによれば I 流域では用水供給に100%依存するケース2が高く評価される結果となった。これは地震事故や管路事故指標は、用水供給管路の事故リスクが加わることからケース2が悪くなるが、それ以上にケース1では河川水量減少による渇水指標が悪くなったこと、ケース1-1では還流する下水処理水の水質が悪いことにより、ケース1-2では、さらに自己水の有機物処理性が低いことにより非飲用指標が悪くなっていることが大きく影響している。

N 流域でも、用水供給100%とするケース2、ケース3が高く評価されることとなった。これも I 流域と同様渇水指標と非飲用指標が影響している。なおI流域ではケース1が、N流域ではケース1-2が最も悪い評価となったが、これはN河川がI河川に比して水量が少なく水質も悪いため、非飲用指標や渇水指標に影響した結果といえる。

これらの結果から、水道指標から見れば、自己水を現在の沈澱ろ過という通常の浄水処理により供給するシステムでは、N流域に関しては自律分散型システム導入は低く評価される結果となった。

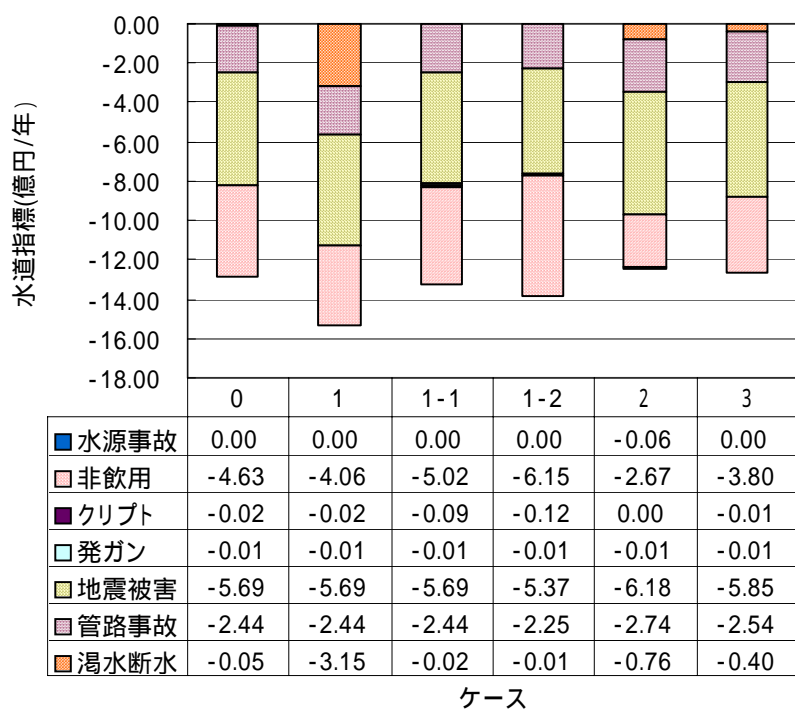


図 5-2-7(1) I 流域における水道指標の総括表

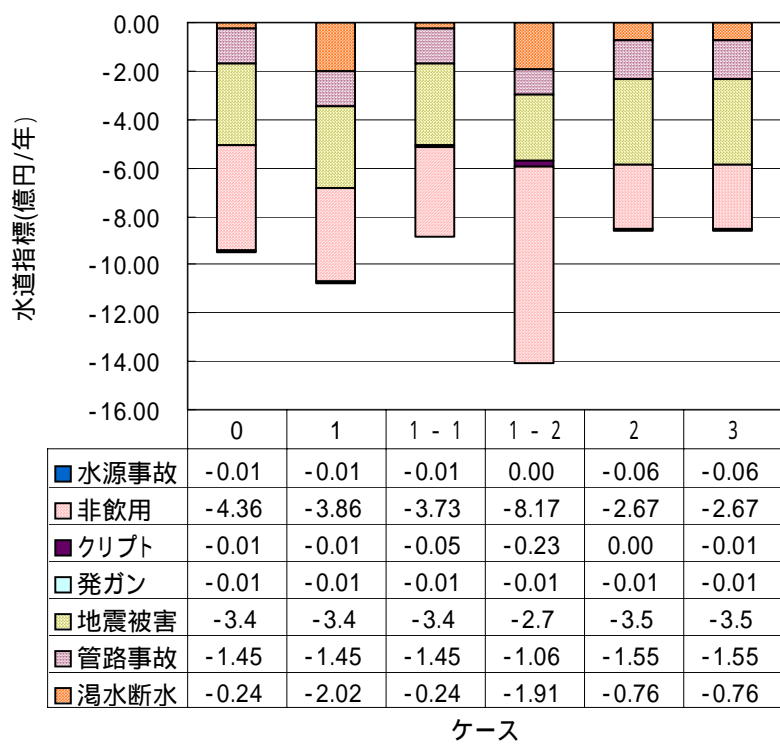


図 5-2-7(2) N 流域における水道指標の総括表



## 5 - 3 地球環境とライフサイクルコスト指標

### 5-3-1 上水道システムの LCA

H15水道統計の大阪府域市町村水道データを用いて、モデル流域の管路構成や電力、薬品使用量を設定し、各ケース毎に LCA 計算を行った。

(1) 用水供給：大阪府営水道の H15 年度実績値<sup>5)</sup>を用いた。

建設時

表 5-3-1(1)、(2) に示す管路、施設能力等より、費用関数を用いて算定した。

表 5-3-1(1) 大阪府営水道事業の規模内訳

年間給水量：	577877	(千 m <sup>3</sup> )
施設能力：	2300000	(m <sup>3</sup> / 日)
送水管延長：	550521	(m)

表 5-3-1(2) 府営水道建設時原単位数量

	取水設備		浄水施設		配水設備		合計
	土木	設備	土木	設備	送水管	配水池	
費用(百万円)	101200	15410	96051	37761	159133	21193	430747
年間費用(百万円)	2530	1027	2401	2517	3978	530	12984
費用(円/m <sup>3</sup> )	4.4	1.8	4.2	4.4	6.9	0.9	22.5
エネルギー(kcal/m <sup>3</sup> )	43.9	19.5	41.7	47.8	69.1	9.2	231.3
CO <sub>2</sub> (kg C/m <sup>3</sup> )	0.0046	0.0017	0.0044	0.0043	0.0072	0.0010	0.0232

運用時

電力、薬品使用実績より、発生原単位および H15 大阪府営水道の契約単価を用いて求めた。

表 5-3-1(3) 府営水道運用時原単位数量

	電力(kwh)	PAC(t)	次亜塩(kg)	苛性ソーダ(t)	合計
年間使用量	4.28E+08	17878	5993074	2362	
1m <sup>3</sup> 当たり使用量	0.74	3.09E-05	0.01	4.1E-06	
単価(円)	11	12500	19500	24000	
金額(円/m <sup>3</sup> )	8.17	0.39	0.20	0.10	8.86
エネルギー(kcal/m <sup>3</sup> )	1667.14	17.94	98.94	29.55	1813.76
CO <sub>2</sub> (kg C/m <sup>3</sup> )	0.077	0.009	0.003	0.001	0.090

## 建設と運用の合計

建設と運用を合わせた合計値を表5-3-1(4)に示す。なお、大阪府営水道のH15決算では水源関係を除く減価償却費は21円/m<sup>3</sup>で、薬品費と動力費の合計は10円/m<sup>3</sup>であり費用関数に基づく算定結果とほぼ一致する。

表5-3-1(4) 府営水道の単位水量当たり金額等

	建設	運用	合計
費用(円/m <sup>3</sup> )	22.5	8.9	31.3
エネルギー(kcal/m <sup>3</sup> )	231	1814	2045
CO <sub>2</sub> (kg C/m <sup>3</sup> )	0.02	0.09	0.11

## (2) 自己水

### 建設

管路については、水道統計より府内市町村の給水規模別の管径別配管延長割合(図5-3-1)を求め、第3章で示した管路の費用関数を用いて給水規模別のkm当たり配管費用を算定した。その結果を表5-3-1(5)に示す。

浄水施設等については、各ケース毎に日平均給水量を負荷率を用いて日最大給水量に変換し、費用関数を用いて費用を算定した。

これらの費用より3章の表3-3-1(2)、(4)に示した原単位を用いてLCAの計算を行った。その結果を表5-3-1(6)に示す。

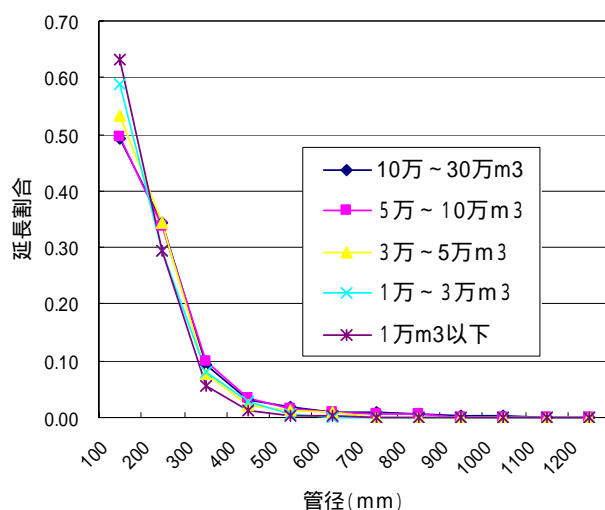


図5-3-1(1) 給水規模別 管径延長割合

表5-3-1(5) 管路規模別平均単価

	平均単価 (百万円 / km)
10 万 ~ 30 万 m <sup>3</sup>	46.66
5 万 ~ 10 万 m <sup>3</sup>	46.05
3 万 ~ 5 万 m <sup>3</sup>	43.63
1 万 ~ 3 万 m <sup>3</sup>	42.30
1 万 m <sup>3</sup> 以下	39.75

表 5-3-1(6)自己水建設(水処理+配水施設)にかかる単位水量当たり費用等

I 流域 ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )	N 流域 ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )
0	46.8	473.7	0.049	0	21.4	216.4	0.022
1	46.8	473.7	0.049	1	21.4	216.4	0.022
1-1	46.8	473.7	0.049	1-1	21.4	216.4	0.022
1-2	52.3	530.8	0.055	1-2	32.7	333.9	0.034
2	37.8	379.8	0.040	2	18.5	185.8	0.019
3	45.0	455.0	0.047	3	18.5	185.8	0.019

## 運用

自己水の水処理と域内給水のための電力は、府内市町村の規模別原単位より各ケース毎に算定した。薬品の1m<sup>3</sup>当たりの使用量(原単位)については、規模別での差異は見られなかったため府内市町村の平均値を用いた。

表 5-3-1(7) 給水規模別電力原単位  
(単位: kWh/m<sup>3</sup>)

給水規模	電力原単位
30～10万m <sup>3</sup>	0.23
10万～5万m <sup>3</sup>	0.25
5万～3万m <sup>3</sup>	0.33
1万～3万m <sup>3</sup>	0.43
1万m <sup>3</sup> 以下	0.62

表 5-3-1(8) 薬品使用量 (単位: kg/m<sup>3</sup>)

	次亜塩	PAC	苛性ソーダ	粉末活性炭
府内市町村	0.017393	0.026137	0.007689	0.000566

表 5-3-1(9) 自己水運用にかかる単位水量当たり費用等

I 流域 ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )	N 流域 ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )
0	4.7	989	0.048	0	4.9	1016	0.048
1	4.7	989	0.048	1	4.9	1016	0.048
1-1	4.7	989	0.048	1-1	4.9	1016	0.048
1-2	5.0	1084	0.054	1-2	5.6	1205	0.059
2	4.1	847	0.039	2	4.7	968	0.045
3	4.5	942	0.045	3	4.7	968	0.045

### 5-3-2 下水道システムのLCA

H15下水道統計、H15公営企業年鑑の大阪府内市町村のデータを用いてモデル流域の電力使用量等を設定した。ただし管渠の管径構成については、雨水幹線、合流式管渠、污水管渠の合計値のみで、分流式の污水管の管径別の管路延長は記載されていないため、別途地形則を用いて設定した。

#### (1) モデル流域の管渠構成

管渠延長：水道管渠と同様に、下図(図5-3-2(1))に示す人口密度と一人当たりの配管延長の関係式よりモデル流域の管渠延長を表5-3-2(1)～(4)のとおり設定した。

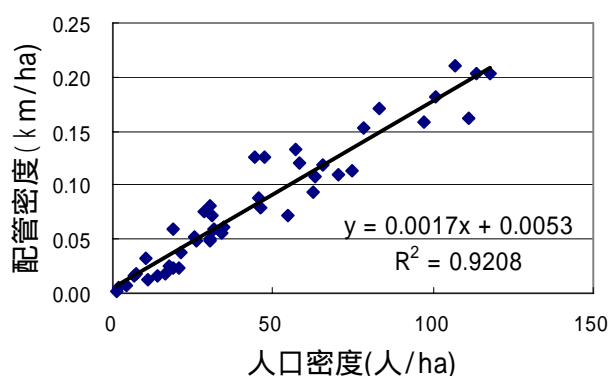


図5-3-2(1) 下水道の配管密度と人口密度の関係

表5-3-2(1) I流域の下水道(整備率50%)ケース0

	I-1	I-2	I-3	I-4	合計
面積(km <sup>2</sup> )	35	55	70	60	220
下水道人口(万人)	1	2.5	4.5	4.5	12.5
人口密度(人/ha)	2.86	4.55	6.43	7.50	5.68
配管密度(km/ha)	0.010	0.013	0.016	0.018	0.015
管路延長(km)	36	72	114	109	331

表5-3-2(2) I流域の下水道(整備率100%)ケース1～3

	I-1	I-2	I-3	I-4	合計
面積(km <sup>2</sup> )	35	55	70	60	220
下水道人口(万人)	2	5	9	9	25
人口密度(人/ha)	5.71	9.09	12.86	15.00	11.36
配管密度(km/ha)	0.015	0.021	0.027	0.031	0.025
管路延長(km)	53	115	192	186	546

表5-3-2(3) N流域の下水道(整備率70%)ケース0

	N-1	N-2	N-3	N-4	合計
面積(km <sup>2</sup> )	20	10	10	10	50
下水道人口(万人)	4.9	4.2	4.2	4.2	17.5
人口密度(人/ha)	24.5	42.0	42.0	42.0	35.0
配管密度(km/ha)	0.047	0.077	0.077	0.077	0.065
管路延長(km)	95	77	77	77	327

表5-3-2(4) N流域の下水道(整備率100%)ケース1~3

	N-1	N-2	N-3	N-4	合計
面積(km <sup>2</sup> )	20	10	10	10	50
下水道人口(万人)	7	6	6	6	25
人口密度(人/ha)	35.0	60.0	60.0	60.0	50.0
配管密度(km/ha)	0.065	0.108	0.108	0.108	0.091
管路延長(km)	131	108	108	108	456

## (2) 管径別延長

自然河川の河道則については良く知られているが、污水管渠についても同様の関係が成り立つとされている<sup>6)</sup>。

表5-3-2(6) 河道則

河道数則	$N_i = Rb^{k+1}$	$Rb = N_i / N_{i+1}$	$Rb = 4$
河道長則	$L_i = L_i \cdot Rl^{i-1}$	$Rl = L_{i+1} / L_i$	$Rl = 2$
集水面積則	$A_i = A_1 \cdot Ra^{i-1}$	$Ra = A_{i+1} / A_i$	$Ra = 4$
河道勾配則	$Si = S_1 \cdot Rs^{1+i}$	$Rs = S_i / S_{i+1}$	$Rs = 2$

表5-3-2(7) 分流式污水管の河川則による次数計算

管渠数則	$Rb = N_i / N_{i+1}$	$N_i = Rb^{(k-i)}$	$Rb = 3.6$	$N_i$ : i 次の管渠数
管渠長則	$Rl = L_{i+1} / L_i$	$L_i = 90Rl^{(i-1)}$	$Rl = 1.75$	$L_i$ : i 次の管渠長
集水面積則	$Ra = A_{i+1} / A_i$	$A_i = 0.47Ra^{(i-1)}$	$Ra = 4.03$	$A_i$ : " 集水面積
管渠勾配則	$Rs = S_i / S_{i+1}$	$Si = 0.3Rs^{(i-k)}$	$Rs = 1.51$	$Si$ : " 管渠勾配
管径比	$Rd = R_{i+1} / R_i$	$Di = 200Rd^{(i-1)}$	$Rd = 1.24$	$Di$ : " 管径

k:最大次数

1次の次数の平均管渠延長: 90m

1次の次数の平均集水面積: 0.47ha、1次の次数の管径: 200mm

これらの関係式から i 次の管渠長は  $N_i \times L_i$  より、最大次数 k の全管渠長  $L_k$  は、 $r = \frac{Rl}{Rb}$  とすれば

$$L_k = \sum_{i=1}^k N_i \times L_i = \sum_{i=1}^k 90 \cdot \frac{RI^i}{RI} \times \frac{Rb^k}{Rb^i} = 90 \cdot \frac{Rb^k}{RI} \times r \times \frac{(1-r^k)}{(1-r)} \quad \cdots 5-3-2(1)$$

となり、 $i-1 = \frac{\ln(D_i/200)}{\ln(Rd)}$  より、管径  $D_i$  の管渠延長  $L_{D_i}$  と  $L_k$  の比は次式(式5-3-2(2))となる。

$$\frac{L_{D_i}}{L_k} = r^{\left(\frac{\ln(D_i/200)}{\ln(Rd)}\right)} \times \frac{(1-r)}{(1-r^k)} \quad \cdots 5-3-2(2)$$

この関係式を用いて管路延長から管径構成を表5-3-2(8)、(9)のとおり設定した。

表5-3-2(8) I流域における下水道管渠の管径内訳 (単位: km)

管径(mm)	下水道整備率(50%)					下水道整備率(100%)				
	延長	I-1	I-2	I-3	I-4	延長	I-1	I-2	I-3	I-4
200	171	19	37	59	57	282	28	60	99	97
250	83	9	18	29	27	137	13	29	48	47
300	40	4	9	14	13	67	7	14	23	23
400	20	2	4	7	6	32	3	7	11	11
500	10	1	2	3	3	16	2	3	6	5
600	5		1	2	2	8	1	2	3	3
700	2					4			1	1
900						2				
計	331	35	72	114	109	546	53	115	192	187

表5-3-2(9) N流域における下水道管渠の管径内訳 (単位: km)

管径(mm)	下水道整備率(70%)					下水道整備率(100%)				
	延長	N-1	N-2	N-3	N-4	延長	N-1	N-2	N-3	N-4
200	169	49	40	40	40	235	68	56	56	56
250	82	24	20	20	20	114	33	27	27	27
300	40	12	10	10	10	56	16	13	13	13
400	19	6	5	5	5	27	8	6	6	6
500	9	3	2	2	2	13	4	3	3	3
600	5	1	1	1	1	6	2	2	2	2
700	2					3				
900						2				
計	327	94	77	77	77	457	131	108	108	108

(2) 高度処理

H11流域下水道流域総合指針<sup>7)</sup>に示された通常処理(活性汚泥)と高度処理(高度処理・嫌気・好気活性汚泥+ろ過)の費用関数の比より高度処理の建設費については通常処理の10%増、運用費については20%増とした。

(3) 還流施設

管内流速を1m/sとして、還流流量とそれに対応した管路および揚水高等より還流施設の建設費と運用動力費等を算定した。

(4) 下水道のLCA

建設

管渠の構成、処理水量等より費用関数と各原単位を用いて処理量当たりの費用(LCC)(円/m<sup>3</sup>)、エネルギー(kcal/m<sup>3</sup>)、CO<sub>2</sub>(mg-C/m<sup>3</sup>)を求めた。なおケース1～3は高度処理分(10%)を加算した(表5-3-2(6)、(7))。

表5-3-2(6) I流域における管渠及び処理場のLCA・LCC原単位(建設分)

I 2000	管路・処理場			還流施設		
ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )
0	53.7	525.0	0.053			
1	47.9	470.8	0.047			
1-1	47.9	470.8	0.047	2.9	27.6	0.003
1-2	47.9	470.8	0.047	2.9	27.6	0.003
2	47.9	470.8	0.047			
3	47.9	470.8	0.047			

表5-3-2(7) N流域における管渠及び処理場のLCA・LCC原単位(建設分)

N2000	管路・処理場			還流施設		
ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-C/m <sup>3</sup> )
0	42.6	420.6	0.042			
1	43.9	434.2	0.043			
1-1	43.9	434.2	0.043	2.0	15.8	0.002
1-2	43.9	434.2	0.043	3.2	31.3	0.003
2	43.9	434.2	0.043			
3	43.9	434.2	0.043	1.2	11.2	0.0012

## 運用

大阪府内の通常処理(活性汚泥法)分の処理水量別電力原単位を用いて各ケースごとの運用にかかるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の各原単位を求めた(表5-3-2(8),(9)参照)。

なおケース1～3では高度処理分(20%)を加算した。

ケース0でI流域とN流域の原単位が異なるのは、処理量が異なることによる(表5-3-2(10)参照)。

表5-3-2(8) I 流域における管路及び処理場のLCA・LCC原単位(運用分)

I 2000	管路・処理場			還流施設		
ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-c/m <sup>3</sup> )	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-c/m <sup>3</sup> )
0	5.1	1049	0.049			
1	4.9	1001	0.046			
1-1	4.9	1001	0.046	2.0	417	0.019
1-2	4.9	1001	0.046	2.0	417	0.019
2	4.9	1001	0.046			
3	4.9	1001	0.046			

表5-3-2(9) N 流域における管路及び処理場のLCA・LCC原単位(運用分)

N2000	管路・処理場			還流施設		
ケース	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-c/m <sup>3</sup> )	費用 (円/m <sup>3</sup> )	エネルギー (kcal/m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg-c/m <sup>3</sup> )
0	4.5	910	0.042			
1	4.9	1001	0.046			
1-1	4.9	1001	0.046	0.7	153	0.007
1-2	4.9	1001	0.046	0.9	187	0.009
2	4.9	1001	0.046			
3	4.9	1001	0.046	0.5	102	0.005

表5-3-2(10) 電力使用量の原単位(H15下水道統計大阪府内通常処理分)

通常処理	kwh/m <sup>3</sup>
10万以上	0.3687
5万～10万m <sup>3</sup>	0.4046
3万～5万m <sup>3</sup>	0.4663
3万～1千m <sup>3</sup>	0.5941
1000m <sup>3</sup> 以下	1.2489



### 5-3-3 上下水道の環境影響評価とLCC

#### (1) I, N流域におけるLCA

上下水道の処理量当たりの費用(円/m<sup>3</sup>)、エネルギー(kcal/m<sup>3</sup>)、CO<sub>2</sub>(kg-C/m<sup>3</sup>)を年間処理量を用いて、ケース別に年間の費用とエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量を求めると図5-3-3(1),(2)のようになる。上水道は、I,N流域とも用水供給100%のケース2が、遠距離導水の影響で費用、エネルギー、CO<sub>2</sub>とも大きな値となっている。下水道については、ケース0の値が小さいがこれは整備率が低いことによる。

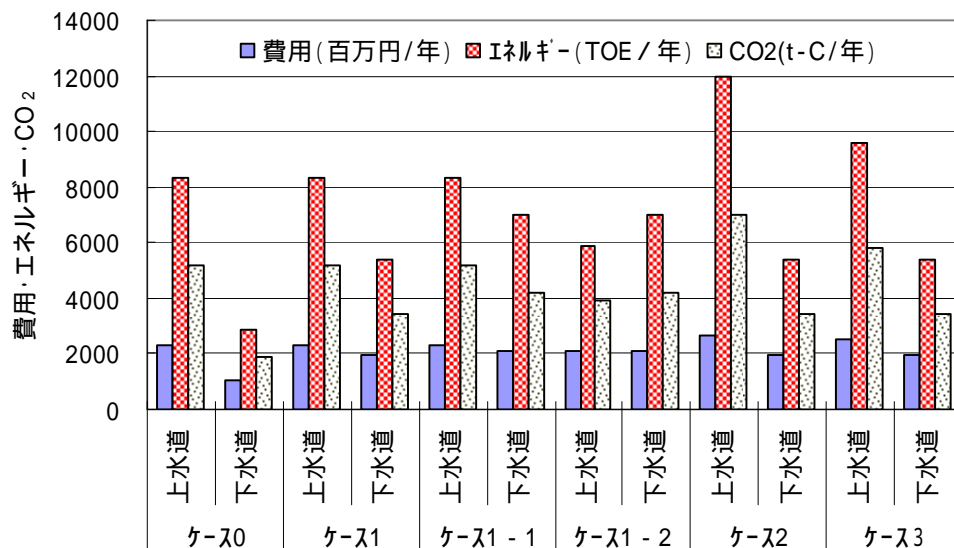


図5-3-3(1) I流域での年間の費用とエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量

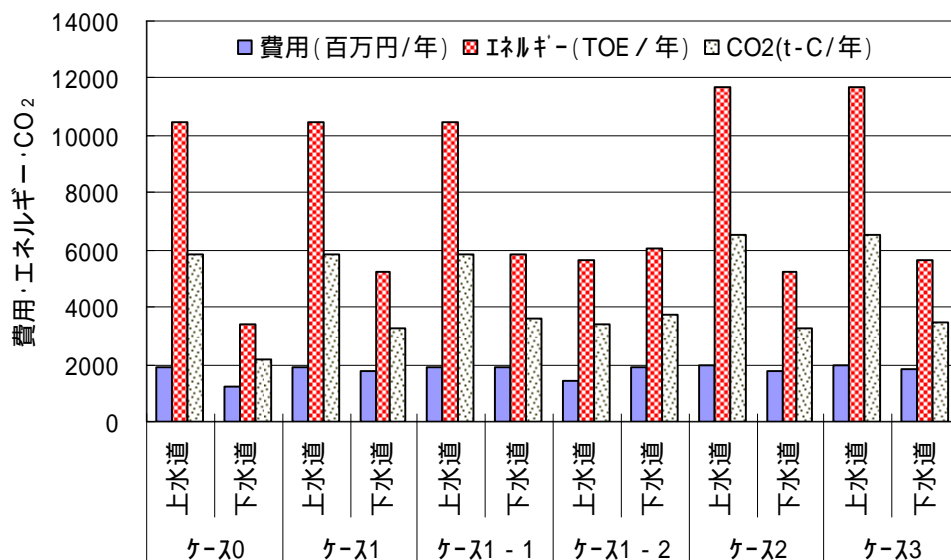


図5-3-3(2) I流域での年間の費用とエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量

## (2) I、N流域におけるLCA・LCC指標

(1)で算出した上下水道のLCAより得られたエネルギー消費量を貨幣評価するため、エネルギーを電力に換算し(2,250kcal/kwh)、電力単価を11円/kwhとして貨幣価値に変換した。同様にCO<sub>2</sub>排出量を貨幣評価するため、日本のCO<sub>2</sub>レベルを2000年から1990年レベルに安定させるために必要な炭素税率3万円/tを用いた。また、LCCの価値評価は、デフレータ(2003年/1995年=0.98)で2003年価格に変換した。それらの結果を図5-3-3(3)~(8)に示す。

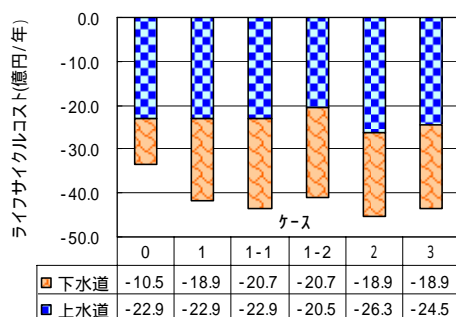


図5-3-3(3) I流域上下水道LCC指標

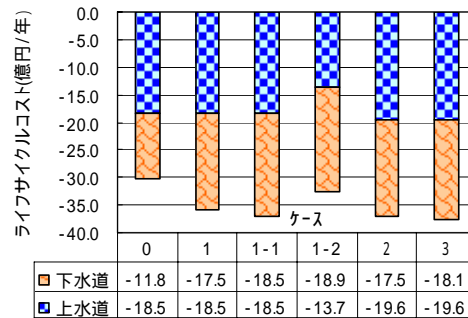


図5-3-3(4) N流域上下水道LCC指標

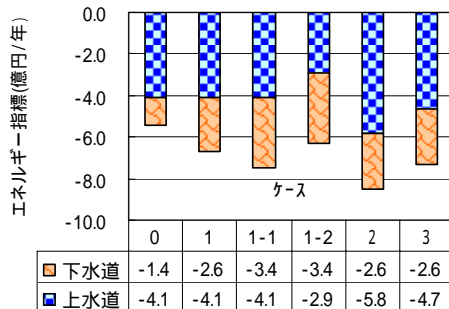


図5-3-3(5) I流域上下水道エネルギー指標

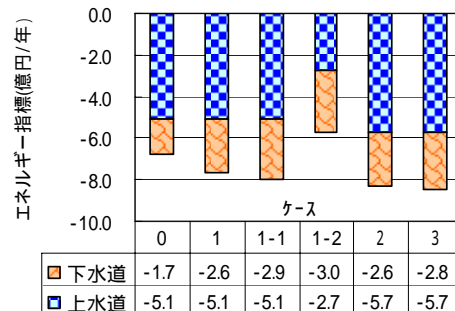


図5-3-3(6) N流域上下水道エネルギー指標

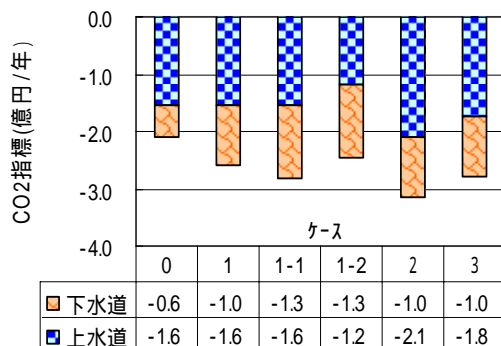


図5-3-3(7) I流域上下水道CO<sub>2</sub>指標

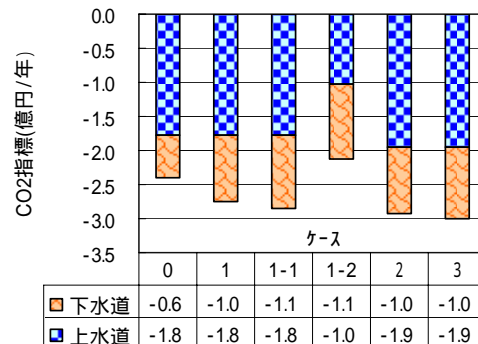


図5-3-3(8) N流域上下水道CO<sub>2</sub>指標

また、LCC、エネルギー、CO<sub>2</sub>指標を合計した値を、図5-3-3(9),(10)に示す。なお、LCC-エネは、図5-3-3(3),(4)のライフサイクルコストから重複する地球環境指標のエネルギー分を差し引いた値である。

これらによれば、I,N流域とも遠距離の導水を必要としない自律分散型のケース1-2が有利という結果となった。下図ではケース0が最小となっているが、これは現状ケースでは下水道の整備率が低いことと、また下水の高度処理を行っていないことによる。

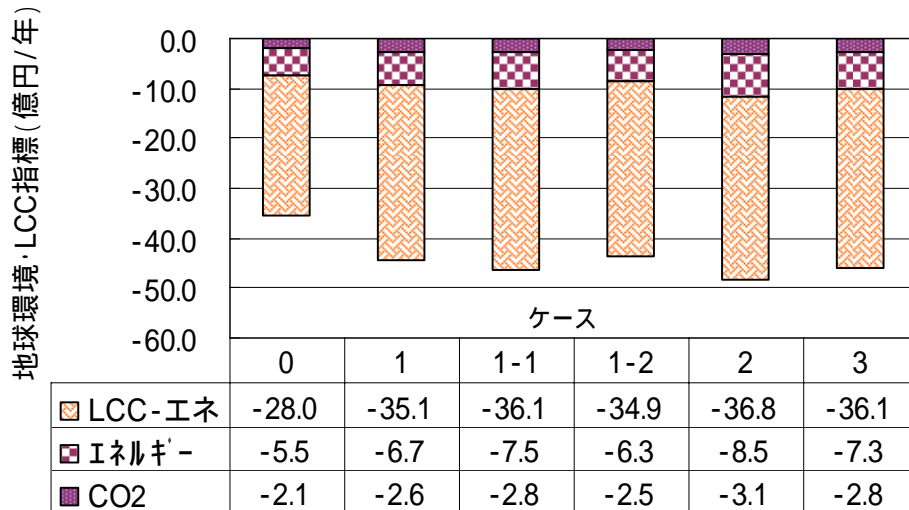


図5-3-3(9) I流域での地球環境・LCC指標

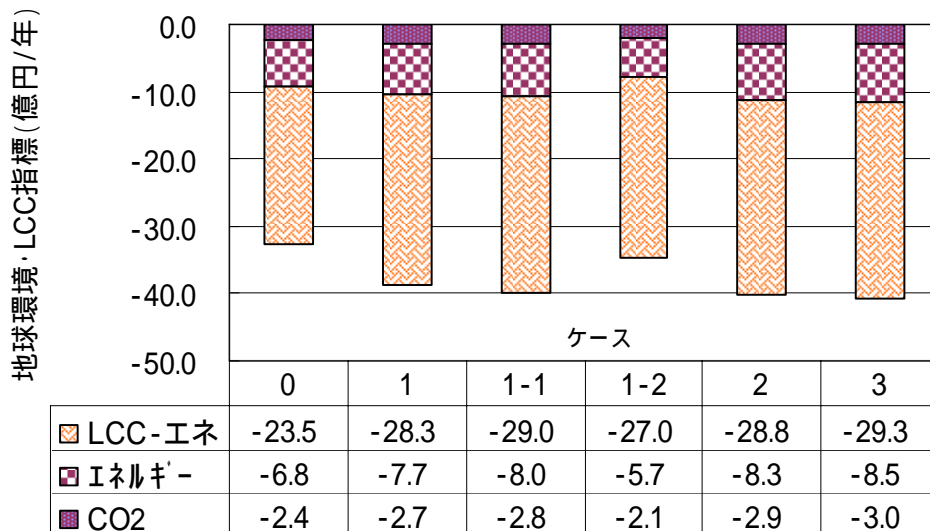


図5-3-3(10) N流域での地球環境・LCC指標

## 5 - 4 総合評価

### 5-4-1 総合評価の結果

I 流域の各指標を各ケース別に集計した総合評価結果「流域水資産健全度指数」(域水指数)を表5-4-1(1)に示す。これによれば、河川流域指標と水道指標で**ケース2**が、地球環境(LCA)指標とLCC指標では**ケース1-2**が高く評価され、総合評価(域水指数)では、現状のシステムで自己水の割合60%から40%に減ずる**ケース3**が最も高く評価された。この結果、I流域では、今回の検討ケースの中では**ケース3**が次世代へ向けてより望ましいシステムとなった。

表5-4-1(1) I流域での総合評価結果

(単位:億円)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	11.9	11.8	15.0	13.0	<b>15.4</b>	14.7
水道指標	-12.8	-15.4	-13.3	-13.9	<b>-12.4</b>	-12.6
地球環境	-7.6	-9.3	-10.3	<b>-8.8</b>	-11.6	-10.1
小計(域水環境指数)	-8.6	-12.8	-8.6	-9.6	-8.7	<b>-8.0</b>
LCC-エネ	-28.0	-35.1	-36.1	<b>-34.9</b>	-36.8	-36.1
合計(域水指数)	-36.6	-47.9	-44.7	-44.5	-45.4	<b>-44.0</b>

また、N流域の各指標を各ケース別に集計した結果を表5-4-1(2)に示す。これによれば、河川流域指標では**ケース1-1**と**ケース3**、水道指標では**ケース2**と**ケース3**、地球環境指標(LCA)とLCCでは**ケース1-2**が高く評価され、総合評価(域水指数)では、下水処理水を河川に還流する**ケース1-1**が最も高く評価された。この結果、N流域では、**ケース1-1**が今回の検討ケースの中では次世代へ向けてより望ましいシステムとなった。

表5-4-1(2) N流域での総合評価結果

(単位:億円)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	-10.5	-10.0	<b>-7.1</b>	-8.9	-9.1	<b>-7.1</b>
水道指標	-9.5	-10.7	-8.9	-14.1	<b>-8.6</b>	<b>-8.6</b>
地球環境	-9.2	-10.4	-10.8	<b>-7.8</b>	-11.2	-11.5
小計(域水環境指数)	-29.1	-31.1	<b>-26.8</b>	-30.8	-28.9	-27.2
LCC-エネ	-23.5	-28.3	-29.0	<b>-27.0</b>	-28.8	-29.3
合計(域水指数)	-52.6	-59.4	<b>-55.7</b>	-57.8	-57.7	-56.4

#### 5-4-2 総合評価結果に関する考察

以上の結果より、I及びN流域での上下水道システムに関しては、今後下水道整備を完備していくと、現状のシステム(ケース1)では、河川水質改善等への効果は平常時流量の減少で相殺され、さらに渇水リスクの増大や地球環境への負荷の増大などにより「流域水資産健全度」は大きく低下する。その対応策として、下水高度処理水の河川への還流(ケース1-1)や自己水源にすべて依存する自律分散型システム(ケース1-2)の導入、逆に自己水源を廃止して他流域からの水源に全て依存するシステム(ケース2-1)への移行が考えられるが、今回の計算では、I流域では、現在のシステムで自己水を一部減じ、用水供給を増やす**ケース3**が、N流域では、下水処理水を河川へ還流する**ケース1-1**が最も高い評価となった。

このように今回の評価では流域特性によりシステムの評価結果に差異が生じることが示された。これは、N流域はI流域に比して、流域面積が1/4と小さいが、人口が同程度であるため、自然緑地面積が少ないこと、また河川水質が悪く、平常時流量も少ないことから下水処理水還流による流量改善効果が大きいことによる。また、今回の検討結果に関して地球温暖化対策を中心とした地球環境の保全という視点で見れば、地球環境指標が最も高く評価される自律分散型システムのケース1-2が最も望ましい案となるが、総合指標による検討では、望ましいシステムとは評価されなかった。これは今回想定した自律分散型システムでは、長距離導水によるエネルギー消費やCO<sub>2</sub>の排出量が減じ地球環境指標は向上するが、下水処理水を含む自己水源の浄水処理を通常処理としているために、供給する水道水質が向上しないため、水道指標が悪化すること、現在用水供給の水資源が量的に比較的安定していることなどが影響していると考えられる。しかし、I流域においては今回最も望ましいケースと評価されたケース3と、水源を他流域に頼らない自律分散型のケース1-2との差は、0.5億円/年とわずかである。これは、N流域に比してI流域は自己水源となる河川の平常時流量が比較的豊富で、下水道完備による家庭排水の流入量減少が、自己水活用へ大きな影響を及ぼさないことによる。このことは今後の地球温暖化等による気象状況の変化や自己水の浄水処理方式の改良などにより、評価結果が異なることになることも十分考えられる。なお、総合評価ではI、N流域ともケース0の評価値が最も高く出ているが、これは下水道の整備率が低く、LCC等が少ないためであり、将来のシステム評価の対象からは省いている。

## 5 - 5 結 語

本章では、I,Nモデル流域で、現状(ケース0)、現状システムで推移し下水道が完備(ケース1)、現況システムで下水高度処理水を河川へ還流(ケース1-1)、自己水源にすべて依存する自律分散型システムへの移行(ケース1-2)、自己水源を廃止して他流域からの水源に全て依存するシステムへの移行(ケース2)、I流域では現在のシステムで自己水を60%から40%に減じ、N流域では、下水処理水を最少限河川へ還流する、現時点で最良と考えられる案(ケース3)の各6ケースについて、今回構築した評価指標を用いて総合評価を行った。その結果、両河川とも、今後の下水道整備の進捗により、河川の水質は改善されるものの、河川の平常時の流量が減少し、現状のシステムで推移するケース1では、大幅に指標値が悪化すること。I流域では自己水を一部減じその分用水供給の量を増加させるケース3が最も高く評価されたが、自律分散型であるケース1-2との差はほとんどないこと。N流域では、下水処理水を河川への還流するケース1-1の評価が最も高いこと。流域状況によって望ましい上下水道システムの評価結果が異なることなどが示された。

## 第5章 参考文献

- 1) 国土交通省河川局:流量年表(昭和55年～平成13年),1982-2003.
- 2) 大阪府土木部:大阪府流量観測報告,1986-2005.
- 3) 大阪府水道部:大阪府水道地震対策方策指針,1996
- 4) 諏訪守,鈴木穰:下水および河川水におけるクリプトスポリジウムの実態調査,土木技術資料,第3533号 p.50-55,1998.
- 5) 大阪府水道部:H15水道事業統計,2004
- 6) 田中修司(執筆代表者):下水道管渠学, p.37-41, 環境新聞社,2001.
- 7) 日本下水道協会:H11流域下水道流域総合指針,1999.

第6章 モデル流域の将来シナリオと総合評価

本章では、今後のわが国の人口減少や温暖化の進展が上下水道システムの評価に与える影響を検討するため、モデル流域の将来シナリオを設定し、4章と同じ再構築パターンで各ケースの総合評価を行った。

6-1 モデル流域の将来シナリオ

次世代へ向けてのシステムを検討の対象とするため、上下水道施設の耐用年数や人間の世代交代期間等から検討対象とする将来年次を2050年と設定した。

第1章の水循環と上水道の課題で詳述したように、今後わが国は人口減少などにより、水需要は減少すると予想されるが、温暖化による降水量変動や蒸発散量の増加、また、世界的な食糧難に伴う国内での食糧増産、エネルギー危機などが将来の上下水道システムに影響を与えることが考えられる。ここでは、既存の文献や調査資料を元に、I,N 流域の50年後の自然社会環境を設定した。

将来シナリオは、文献<sup>1)</sup>に基づき、経済発展・技術志向のシナリオ A、地域重視・自然志向のシナリオ B の2種類を設定した。

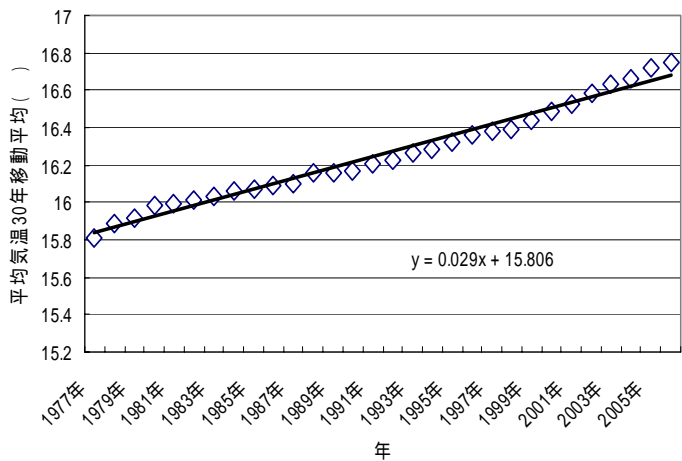


図 6-2-1(1)大阪管区気象台 30 年移動平均気温

6 - 2 自然・社会環境条件の設定

6-2-1 年間平均気温

大阪管区気象台データ<sup>2)</sup>より図 6-2-1

(1)に示すように30年の移動平均を求め、この移動平均値の過去20年のトレンド及び堺、大阪の年ごとの単純トレンドより表 6-2-1

(1)に示すように、2050年までに2 上昇することとした。

表 6-2-1(1) 大阪・堺の気温トレンド(単位: 度C)

また、第3章で示したThornthwaiteの式より、2度の気温上昇は、図 6-2-1(2)に示すように蒸散量を132mm増加させることとなる。

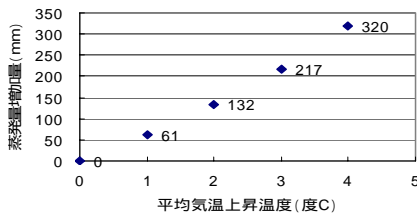


図 6-2-1(2) 平均気温の上昇と蒸発散量の関係

	過去20年 気温トレンド		30年 移動平均
年次	堺	大阪	大阪
2000	16.0	17.2	16.5
2010	16.4	17.6	16.8
2020	16.9	18.0	17.1
2030	17.4	18.4	17.5
2040	17.9	18.8	17.8
2050	18.3	19.2	18.2
2050-2000	2.4	2.0	1.7

### 6-2-2 年間平均降雨量

図6-2-2(1)は石川及び西除川流域平均雨量と大阪管区気象台の年間降雨の推移を示すが、ほぼ同様の傾向を示したことから、将来降雨の想定には過去のデータの多い大阪管区気象台データを用いた。

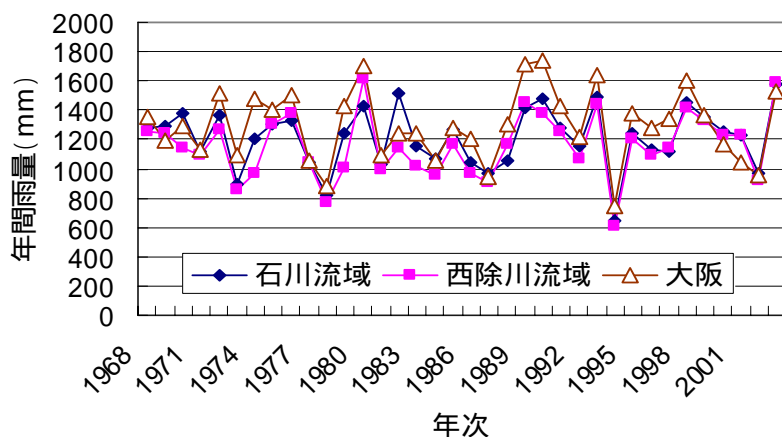


図6-2-2(1) 石川および西除川流域と大阪管区気象台の過去の年間降雨量の比較

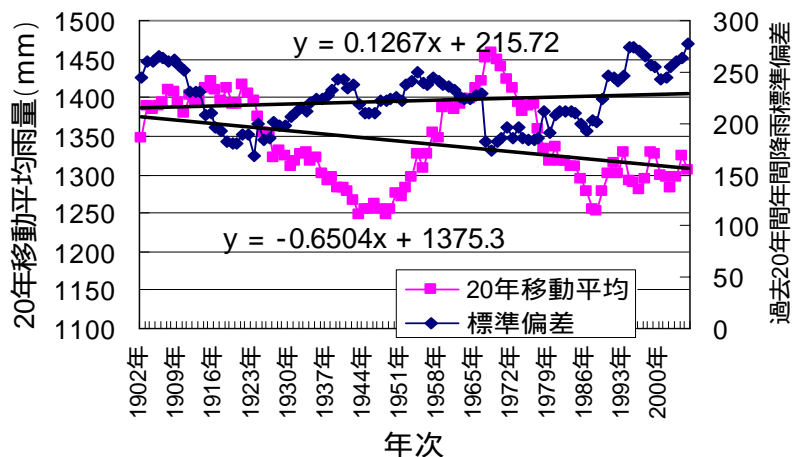


図6-2-2(2) 20年移動平均による大阪管区気象台の年間降雨の推移

図6-2-2(2)は20年移動平均値を用いて大阪管区気象台の年間降雨の推移を表したものである。このトレンド式から表6-2-2(1)に示すとおり、2050年の降雨量は平均降雨で2%減、標準偏差で3%増とした。

表 6-2-2(1) 平均降雨量とその標準偏差 (単位:mm)

年次	平均降雨	標準偏差
2000	1312	228
2050	1279	234
差	-33	6
比率	-2%	3%



### 6-2-3 時間最大、日最大雨量

大阪管区気象台の1889年からの年間の時間最大、日最大降雨強度データを用いて過去30年の移動平均を求め平均値のトレンド式を求めた(図6-2-3(1))。ここで得られたトレンド式を用いると時間最大降雨で13%、日最大で4%増加する結果となる。今後の年間雨量は減少傾向にあるのに対して、ここでは大雨が増大することとなり降雨の変動の増大が予想される結果となった。

また、これより2050年時点における年間最大値の平均値 $\mu$ に対する $\sigma$ は、3章式3-1-1(9)より表6-2-3(1)に示す値となる。

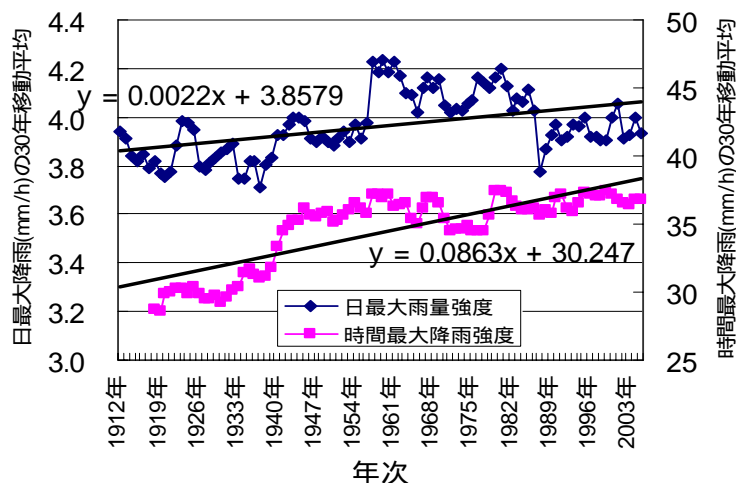


図6-2-3(1) 日最大降雨と時間最大降雨

表6-2-3(1) 2000年と2050年の降雨量の特性値

	降雨量平均値(mm)		$R_1 = \sigma \cdot t_1^{-1}$ 、 $R_2 = a \cdot t_2^{-1}$	
年次	時間最大	日最大		
2000	37.2	96.0	659	0.702
2050	42.2	99.9	833	0.729
増加割合	1.13	1.04	1.26	1.04

表6-2-3(2) 2000年から2050年への降雨量等の変化量

検討ステージ(年次)	2000	2050	増加量	増加率(%)
年間降水量(mm)	1200	1174	-26	-2.2
平均気温(℃)	16.5	18.5	2	12.1
年間蒸発散能(mm)	885	1017	132	14.9
時間最大雨量(平均)(mm)	37.2	42.2	5	13.4
日最大雨量(平均)(mm)	96.0	99.9	3.9	4.1

#### 6-2-4 将来人口

人口問題調査会の予測値<sup>3)</sup>を基に、2050年における石川、西除川流域の人口の減少比率を算定し、I、N流域の将来人口を表6-2-4(1)のとおり設定した。なお各市町村単位の予測値は2030年までであるため、全国の2050年までの予測値のトレンドから推定した(図6-2-4(1)参照)。これによれば2050年の人口は、現状(2000年)から石川流域で86%、西除川流域で73%に減少することとなる。これを元にI、N流域の将来人口を表6-2-4(1)のとおり設定した。

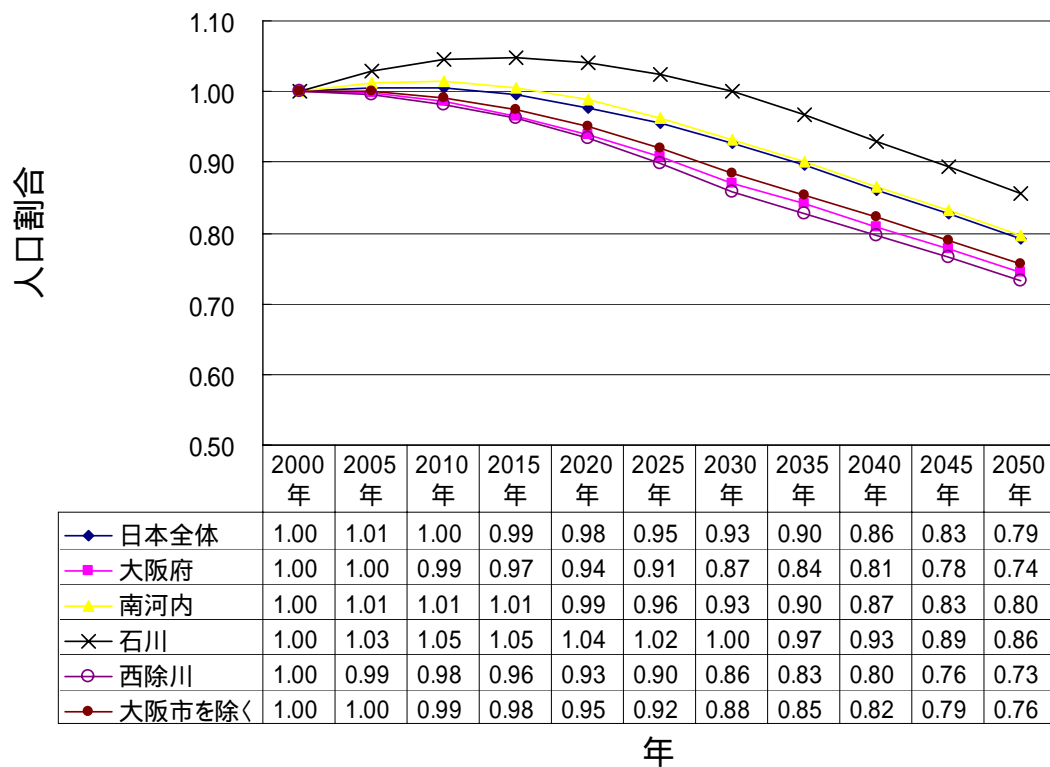


図6-2-4(1) 将来人口予測(中位)

表6-2-4(1) I、N流域の将来(2050年)人口

(単位: 万人)

I 流域	2000 年	2050 年	2050/2000	N 流域	2000 年	2050 年	2050/2000
I-1	2	1	0.770	N1	7	6	0.772
I-2	5	4	0.770	N2	6	4	0.725
I-3	9	8	0.882	N3	6	4	0.725
I-4	9	8	0.853	N4	6	4	0.725
計	25	21	0.84	計	25	18	0.72

### 6-2-5 土地利用

I、N 流域における今後の人口減少率にあわせて宅地面積を減少させた。

わが国の食料自給率は現在カロリーベースで39%であるが、これを将来50%まで向上するとされており<sup>4)</sup>、これを加味して農地面積を10～20%増加させた。その他道路水面等の公共空間を増加することで2050年の土地利用を設定した(表6-2-5(1),(2))。

### 6-2-6 水道給水量

1人1日当たりの水道給水量をシナリオ A では現状と同じ $q_0=0.4\text{ m}^3/\text{人/日}$ 、シナリオ B では、節水が進むものとして $q_0=0.3\text{ m}^3/\text{人/日}$ とした(表6-2-6(1))。

### 6-2-7 経済成長率

1991年から2003年までの経済成長率は約1.1%、平成22年度までの経済成長率は年平均1.33%と推定されている。今後のわが国の発展をGDP だけで見ることにはできないが、ここでは、年間経済成長率を文献<sup>1)</sup>を基にシナリオ A:2%、シナリオ B:1%とした(表6-2-6(1))。

### 6-2-8 検討ケース

4章で設定した現況と同じ6ケースとし、水道供給量や下水処理量は、人口と一人当たりの水使用量から表6-2-5(2)に示すとおり設定した。

表6-2-6(1) I、N 流域の将来シナリオ

	2000	2050	
シナリオ		A	B
GDP 年間伸び率(%)		2.0	1.0
水道給水量 $q_0(\text{m}^3/\text{人/日})$	0.4	0.4	0.3

表6-2-5(1) I、N 流域における2050年の土地利用

	I 流域		N 流域	
年次	2000	2050	2000	2050
流域面積	220(km <sup>2</sup> )		50(km <sup>2</sup> )	
森林	119	119	6	6
農地	25	27	10	12
宅地	25	21	20	14
水面	7	8	4	5
道路	10	11	4	5
その他	34	34	6	8
人口(万人)	25	21	25	18
下水道普及率	50%	100%	70%	100%

表6-2-5(2) I、N 流域ケース別給水量・下水還流量  
(単位:万m<sup>3</sup>/日)

		水道給水量				下水道	
		用水供給		自己水		還流量	
流域		I	N	I	N	I	N
2000		4	8	6	2	0	0
2050A							
検討 ケース	1	3.4	5.8	5.0	1.4	0	0
	1-1	3.4	5.8	5.0	1.4	8.4	4.3
	1-2	0	0	8.4	7.2	8.4	7.2
	2	8.4	7.2	0	0	0	0
	3	5.0	7.2	3.4	0	0	2.9
2050B							
検討 ケース	1	2.5	4.3	3.8	1.1	0	0
	1-1	2.5	4.3	3.8	1.1	6.3	3.2
	1-2	0	0	6.3	5.4	6.3	5.4
	2	6.3	5.4	0	0	0	0
	3	3.8	5.4	2.5	0	0	2.2

### 6-3 将来シナリオでの総合評価

前節で設定した将来シナリオの下で、第4章の上下水道の再構築パターンと同じ5ケースについて、同様の手法で総合評価を行った。

#### 6-3-1 河川・流域指標

##### (1) 平常時河川流量と水質

図6-3-1(1)および6-3-1(2)は、I流域の平常時流量と水質について現況と2050年の比較を行ったものである。平常時流量については、いずれのケースにおいても、2050年では平均気温の上昇で蒸発量が増加し2000年に比べ20%程度減少するが、水質については大きな変化は見られない。

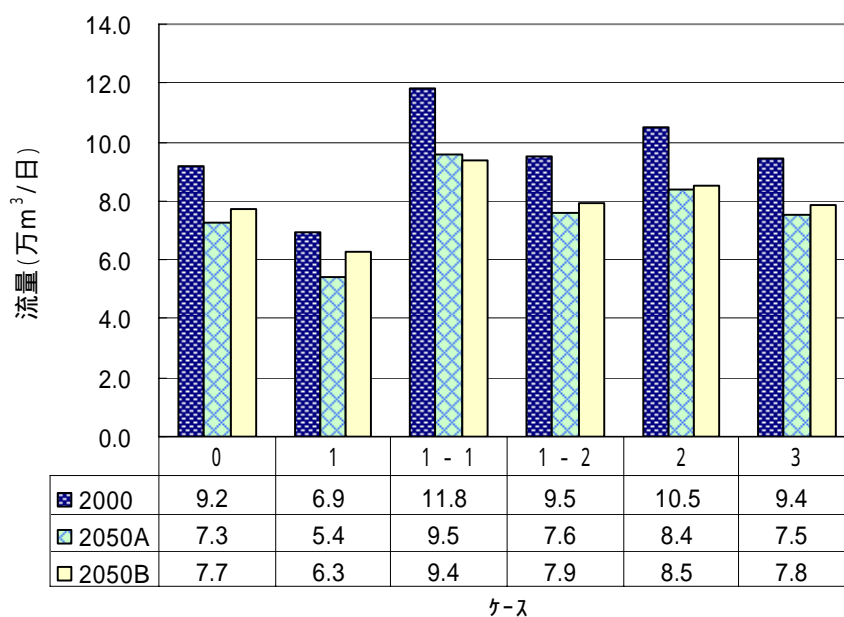


図6-3-1(1) I流域における平常時流量の現況(2000年)と2050年の比較

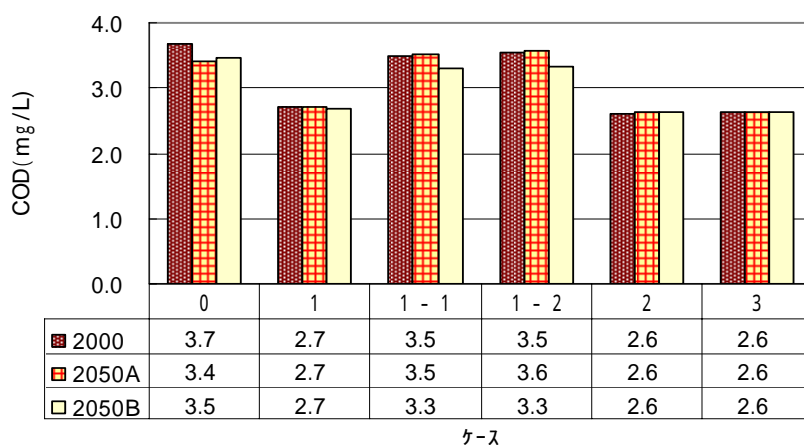


図6-3-1(2) I流域における水質(COD)の現況(2000年)と2050年の比較

図6-3-1(3)、図6-3-1(4)はN流域の平常時流量と水質(COD)について現況 2000年 と2050年の比較を行ったものである。ケース0で2050Bシナリオの方がAシナリオより流量減少を示しているのは、Bシナリオでは水道給水量がAシナリオより少ないために下水道未整備分の家庭排水の河川への流入量が少ないためである。ケース1では、取水量が減じるため2050Bシナリオの河川流量が大きくなっている。それ以外のケースで2050のAシナリオがBシナリオより流量が大きいのは、給水量の違いによる処理水の還流量と水道管から地下水への漏水量の差に起因している。水質については特に大きな変化は生じていない。これはCOD 負荷の流出が総流出量に比例しているため流量の影響を受けないためである。

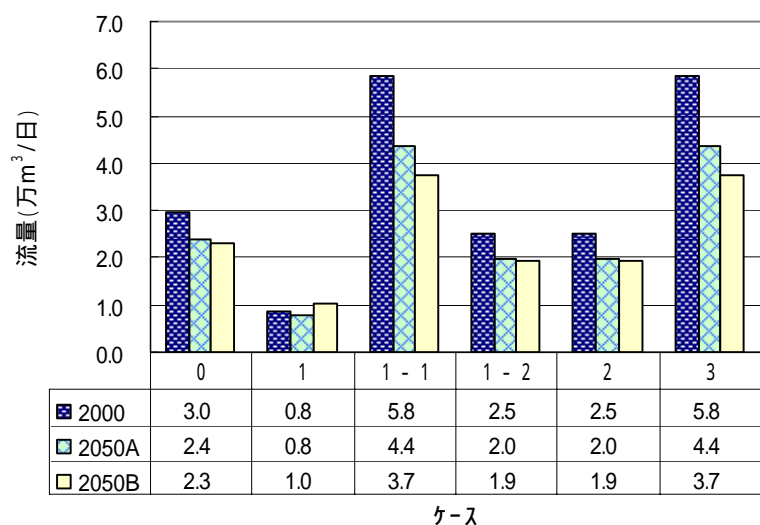


図6-3-1(3) N流域における平常時流量の現況(2000年)と2050年の比較

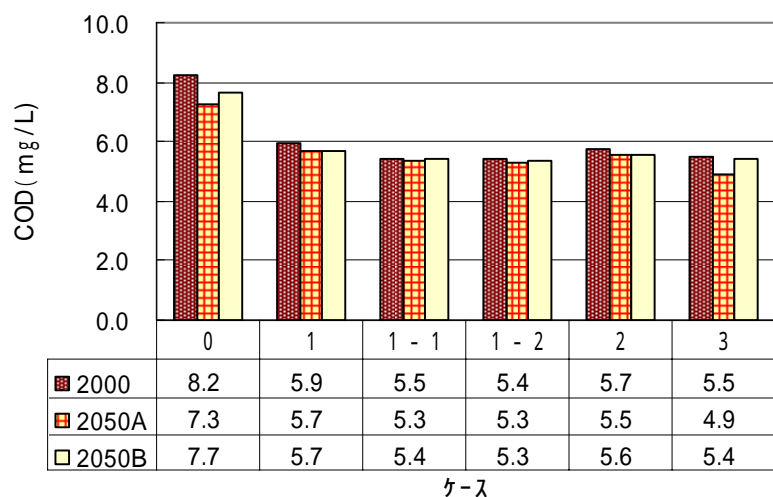


図6-3-1(4) N流域における水質(COD)の現況(2000年)と2050年の比較

## (2) 平常時流量指標と水質指標

図6-3-1(5)は、I流域の平常時流量指標と水質指標の合計値を現況(2000年)と2050年で比較したものである。これらは(1)で求めた流量と水質の結果と対応しており、2050Aでは今後の河川流量の減少により年間1.1～1.8億円程度、2050Bでは、年間0.6～1.7億円程度指標値が悪化することが示された。また、図6-3-1(6)は、N流域の平常時流量指標と水質指標の合計値について同様の比較を行ったものである。N流域では、ケース0、1で水質改善効果が大きく指標値は若干向上しているが、それ以外のケースでは2050Aでは現況(2000)より年間0.6～0.1億円、2050Bでは年間1.3～0.1億円程度指標値が悪化している。

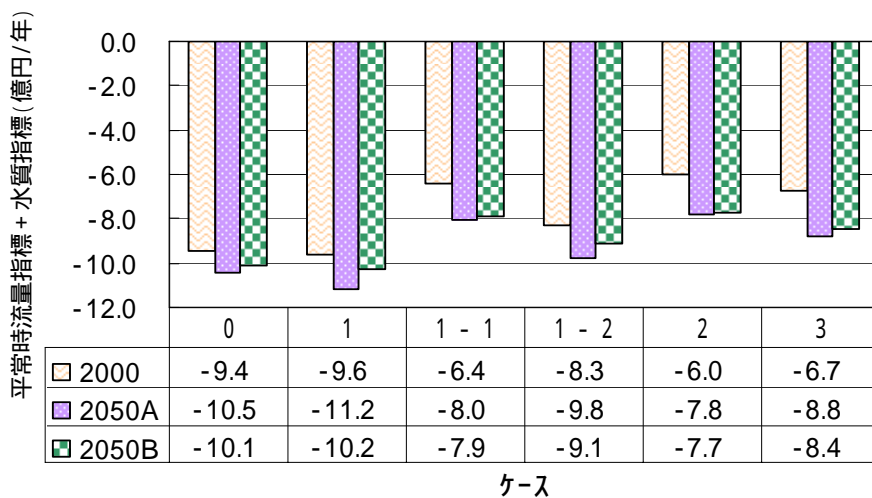


図6-3-1(5) I流域での平常時流量指標と水質指標の現況(2000年)と2050年の比較

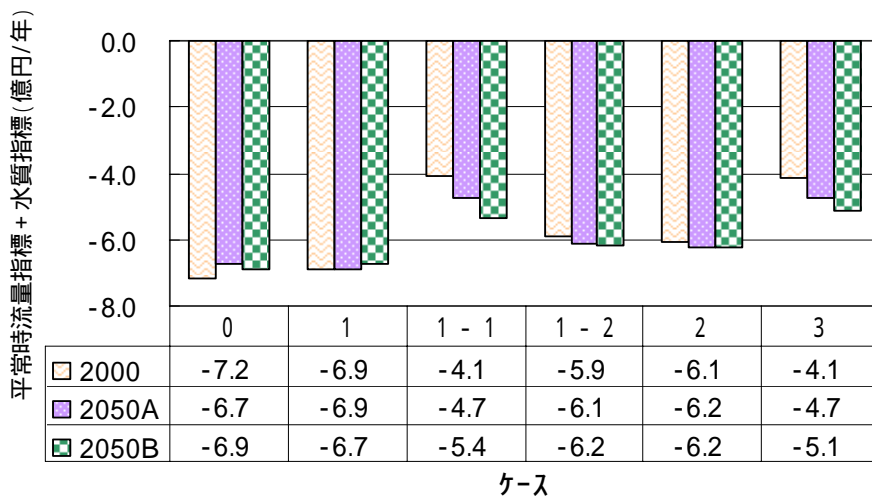


図6-3-1(6) N流域での平常時流量指標と水質指標の現況(2000年)と2050年の比較

図6-3-1(7)、図6-3-1(8)はⅠ流域における2050A、Bのケース別水質・流量指標の合計値である。これによれば現況(2000)と同様にケース2が最も高く評価されるが、自律分散型であるケース1-2との差は、2.3億円/年から2.0億円/年(2050A)、1.6億円/年(2050B)に減少している。

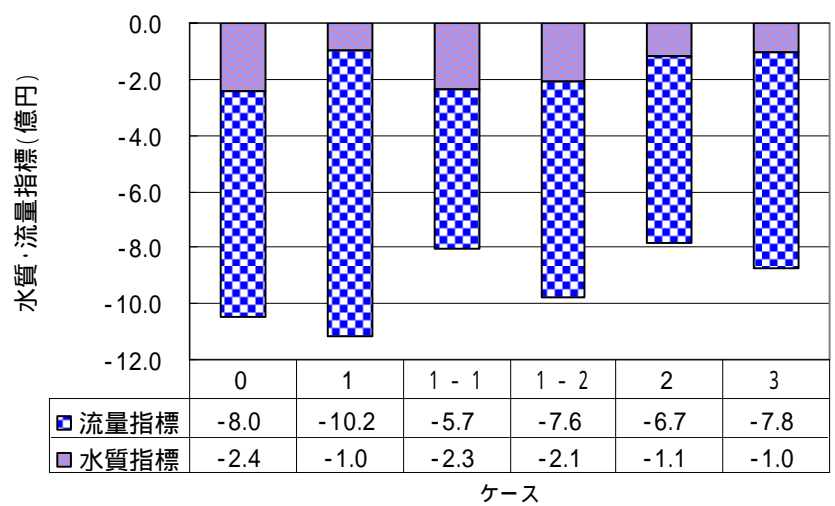


図6-3-1(7) Ⅰ流域における2050Aシナリオでのケース別 水質と流量指標の合計値

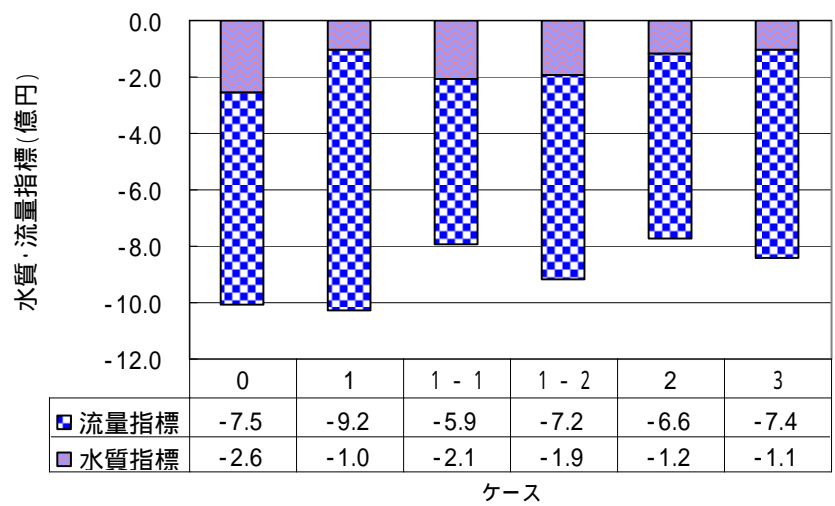


図6-3-1(8) Ⅰ流域における2050Bシナリオでのケース別 水質の流量指標の合計値

図6-3-1(9)、図6-3-1(10)は、N流域における2050A、Bのケース別水質指標と流量指標の合計値である。これによれば、現況(2000)と同じく、現状システムで下水処理水を河川に還流するケース1-1とケース3が高く評価される。この流域では、ケース1-1とケース1-2との差は、1.8億円/年から1.4億円/年(2050A)、0.8億円/年(2050B)に減少している。

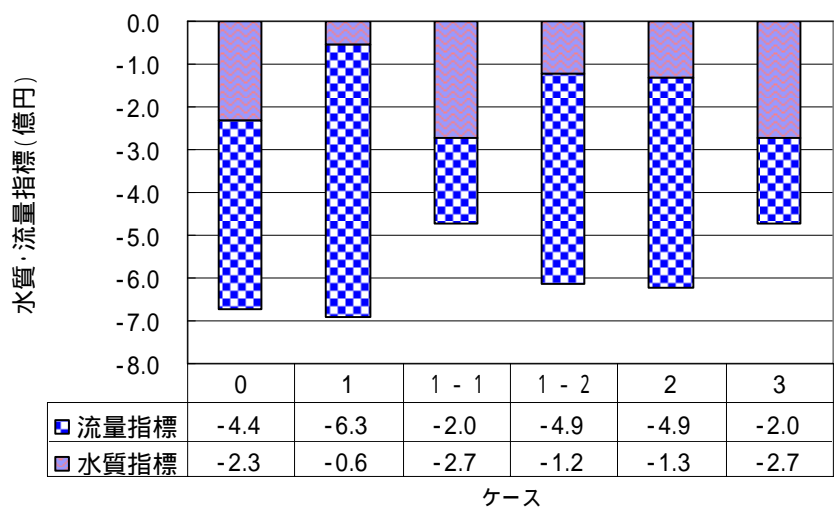


図6-3-1(9) N流域における2050Aシナリオでのケース別 水質の流量指標の合計値

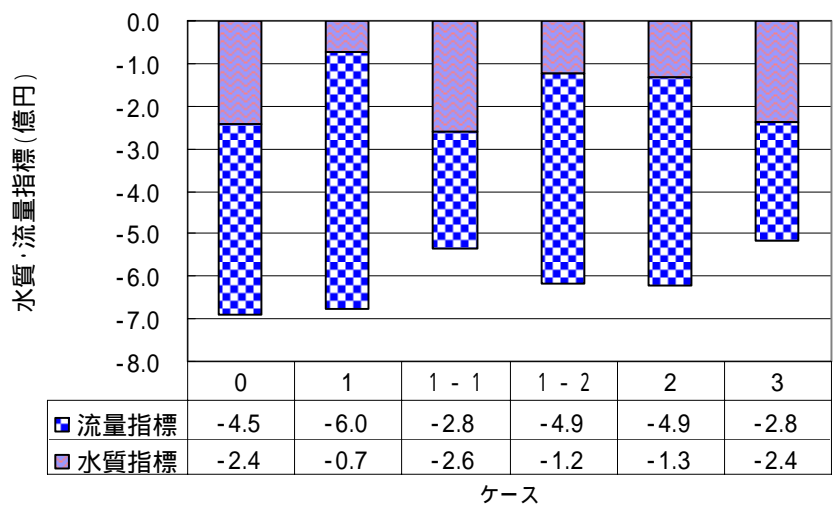


図6-3-1(10) N流域における2050Bシナリオでのケース別 水質の流量指標の合計値



### (3)洪水被害指標

土地利用を基に2050年の市街化率を求め(表6-3-1(1),(2)参照)、降雨強度の変化や経済成長率(表6-3-1(3)参照)を加味してI、N流域の洪水被害指標を算定した。

なお、洪水被害原単位は、経済成長率より、シナリオAでは現状の2.7倍シナリオBで1.6倍とした。

表6-3-1(1) I流域の市街化率

(単位:面積 $\text{km}^2$ )

流域	宅地	道路	その他	市街地面積	流域面積	市街化率
I-1	1	1	4	6	35	0.17
I-2	4	2	6	12	55	0.22
I-3	8	3	14	25	70	0.36
I-4	8	5	10	23	60	0.38
合計	21	11	34	66	220	0.30

表6-3-1(2) N流域の市街化率

(単位:面積 $\text{km}^2$ )

流域	宅地	道路	その他	市街地面積	流域面積	市街化率
N1	5	1	3	9	21	0.43
N2	3	1	1	5	10	0.50
N3	3	2	2	7	10	0.70
N4	3	1	2	6	9	0.67
合計	14	5	8	27	50	0.54

表6-3-1(3) I、N流域における2050年の状況想定

	I 流域		N 流域	
流域勾配(I)	$I=500\text{m}/25\text{km}=1/200$		$I=200\text{m}/20\text{km}=1/100$	
流域長(L)	$L=25\text{km}$		$L=20\text{km}$	
$(L/I)^{-0.510}$	0.0501		0.0671	
都市化率( )	$=0.30$		$=0.54$	
治水レベル(Nf)	$Nf=20$ (年確率)		$Nf=10$ (年確率)	
$R1=542.5(L/I)^{-0.510}$	26.97		36.38	
$R2=131.4(L/I)^{-0.510}$	6.58		8.81	
シナリオ	2050A	2050B	2050A	2050B
洪水被害原単位(Jf)	2.69	1.64	2.69	1.64
洪水リスク Df(億円/年)	8.32	5.08	7.52	4.59

(4)水辺への接近度・河川自然指標

河川への接近度及び河川自然指標は現況と変化はないものとした(表6-3-1(4))。

表6-3-1(4) I、N流域における河川接近度・自然指標 (単位:億円/年)

	I 流域	N 流域
河川接近度指標	-4.0	-6.9
河川自然度指標	-5.6	-1.1

(5)流域指標

自然緑地指標の計算結果を表6-3-1(5)に、湖沼等水面指標を表6-3-1(6),(7)に示す。

表6-3-1(5) 自然緑地面積(単位:km<sup>2</sup>)と自然緑地指標値(単位:億円/年)

流域	農地	森林	自然面積	指標値	流域	農地	森林	自然面積	指標値
I-1	2	26	28	4.9	N1	5	6	11	3.5
I-2	4	38	42	7.7	N2	3	0	3	1.5
I-3	8	35	43	9.3	N3	2	0	2	1.0
I-4	13	20	33	9.6	N4	2	0	2	1.0
合計	27	119	146	31.6	合計	12	6	18	7.0

表6-3-1(6) I流域における湖沼等水面指標値

(単位:億円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
I 2000	3.2	3.4	3.3	3.2	3.4	3.4
I 2050A	3.7	3.9	3.7	3.7	3.9	3.9
I 2050B	3.7	3.9	3.8	3.7	3.9	3.9

表6-3-1(7) N流域における湖沼等水面指標値

(単位:億円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
N2000	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7
N2050A	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
N2050B	1.8	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1

(6)河川流域指標の総括

I流域、N流域における、河川流域指標の評価結果を、図6-3-1(8)～(11)に示す。

これらによれば現況と比べ2050年シナリオでは、水質指標は改善されるものの、降雨の減少、蒸発散

量の増加により平常時流量が減じたこと、洪水被害額が最大降雨量とGDPの増大で増加したことより、I、N流域のどのケースも各項目を集計した河川指標値が現状より悪化することとなった。また、流域指標は、水質の改善により向上したがケースによる差は小さかった。

I流域の河川流域指標は、A、Bいずれのシナリオもケース2が最も高い評価となった。

表6-3-1(8) I 流域における2050Aシナリオでの河川流域指標総括 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川指標	平時流量	-8.0	-10.2	<b>-5.7</b>	-7.6	-6.7	-7.8
	洪水被害	-8.3	-8.3	-8.3	-8.3	-8.3	-8.3
	水質	-2.5	<b>-1.0</b>	-2.3	-2.1	-1.1	-1.0
	接近度	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
	自然度	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6
小計		-28.4	-29.1	-26.0	-27.7	<b>-25.7</b>	-26.7
流域指標	自然面積	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6
	湖沼等水面	3.7	3.9	3.7	3.7	3.9	3.9
小計		35.3	35.5	35.4	35.3	35.5	35.5
合計		6.9	6.4	9.4	7.6	<b>9.8</b>	8.8

表6-3-1(9) I 流域における2050Bシナリオでの河川流域指標総括 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川指標	平時流量	-7.5	-9.2	<b>-5.9</b>	-7.2	-6.6	-7.4
	洪水被害	-5.1	-5.1	-5.1	-5.1	-5.1	-5.1
	水質	-2.6	<b>-1.0</b>	-2.1	-1.9	-1.2	-1.1
	接近度	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
	自然度	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6	-5.6
小計		-24.8	-24.9	-22.6	-23.9	<b>-22.4</b>	-23.1
流域指標	自然面積	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6
	湖沼等水面	3.7	3.9	3.8	3.7	3.9	3.9
小計		35.3	35.5	35.4	35.4	35.5	35.5
合計		10.5	10.5	12.8	11.5	<b>13.1</b>	12.4

一方N流域に関しては、Aシナリオでケース1-1とケース3、Bシナリオではケース3が高い評価となった。これは第5章の現況(2000)シナリオでの評価結果とほぼ同様な結果であり、流域による評価の差は、現況(2000)シナリオと同様な理由により生じたものである。

なお、ここでのシナリオAとシナリオBとの差は、主に洪水指標の差により生じている。これはGDPの伸び率の違いによって洪水による被害の原単位が異なった結果である。

表6-3-1(10) N 流域における2050A シナリオでの河川流域指標総括 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川指標	平時流量	-4.4	-6.3	<b>-2.0</b>	-4.9	-4.9	<b>-2.0</b>
	洪水被害	-7.5	-7.5	-7.5	-7.5	-7.5	-7.5
	水質	-2.3	<b>-0.6</b>	-2.7	-1.2	-1.3	-2.7
	接近度	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9
	自然度	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
小計		-22.2	-22.4	<b>-20.2</b>	-21.6	-21.7	<b>-20.2</b>
流域指標	自然面積	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	湖沼等水面	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
小計		8.9	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
合計		-13.3	-13.3	<b>-11.1</b>	-12.5	-12.6	<b>-11.1</b>

表6-3-1(11) N 流域における2050B シナリオでの河川流域指標総括 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川指標	平時流量	-4.5	-6.0	<b>-2.8</b>	-4.9	-4.9	<b>-2.8</b>
	洪水被害	-4.6	-4.6	-4.6	-4.6	-4.6	-4.6
	水質	-2.4	<b>-0.7</b>	-2.6	-1.2	-1.3	-2.4
	接近度	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9	-6.9
	自然度	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
小計		-19.5	-19.3	<b>-17.9</b>	-18.7	-18.8	<b>-17.7</b>
流域指標	自然面積	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	湖沼等水面	1.8	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
小計		8.8	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
合計		-10.6	-10.2	-8.8	-9.6	-9.7	<b>-8.6</b>

## 6-3-2 水道指標

### (1) 渇水断水指標

図6-3-2(1),(2)は2050 A, B両シナリオにおける水源別の渇水指標、図6-3-2(3)、(4)は現況(2000)を含むシナリオ別の渇水断水指標の比較である。これらによれば地球温暖化による蒸発量の増加により、I流域のケース1とN流域のケース1 - 2では自己水源が減少、また、I流域のケース2及びN流域のケース2、3では淀川流量が減少し渇水被害を大きく増大させる結果となとなった。

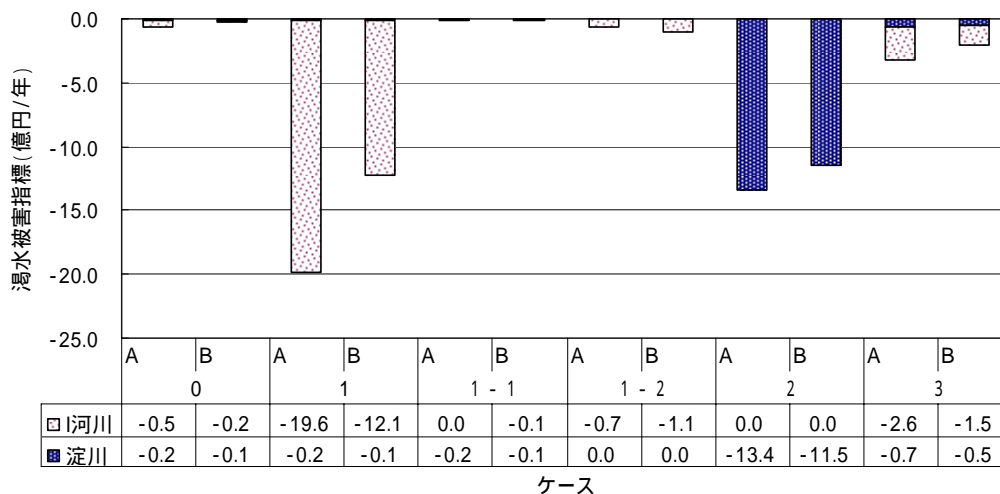


図6-3-2(1) I流域(2050)における渇水被害指標

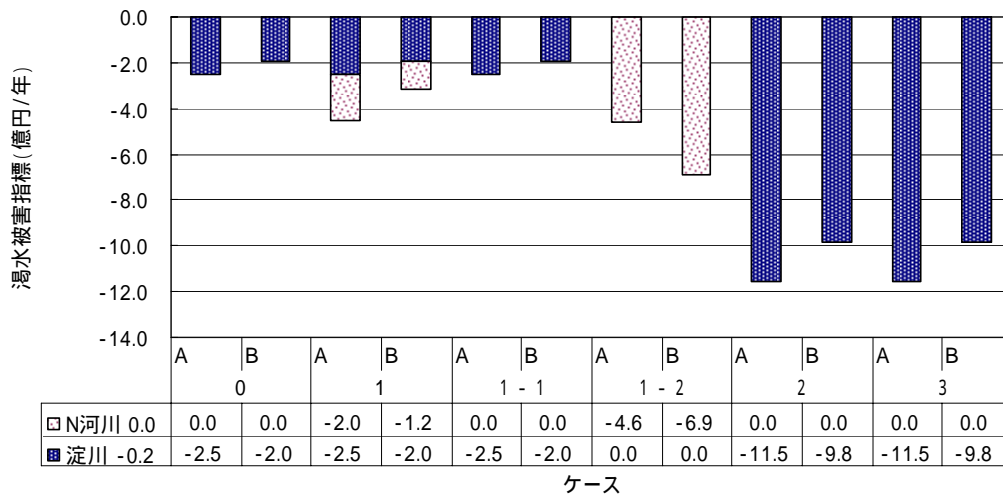


図6-3-2(2) N流域(2050)における渇水被害指標

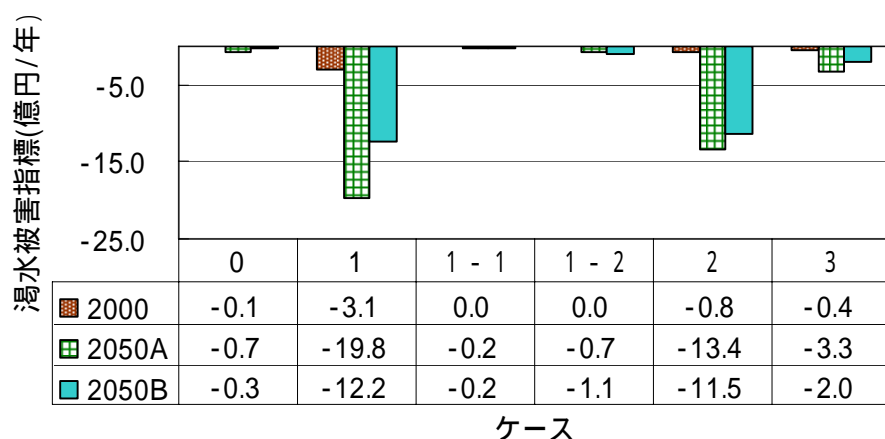


図6-3-2(3) I流域におけるシナリオ別喝水被害指標

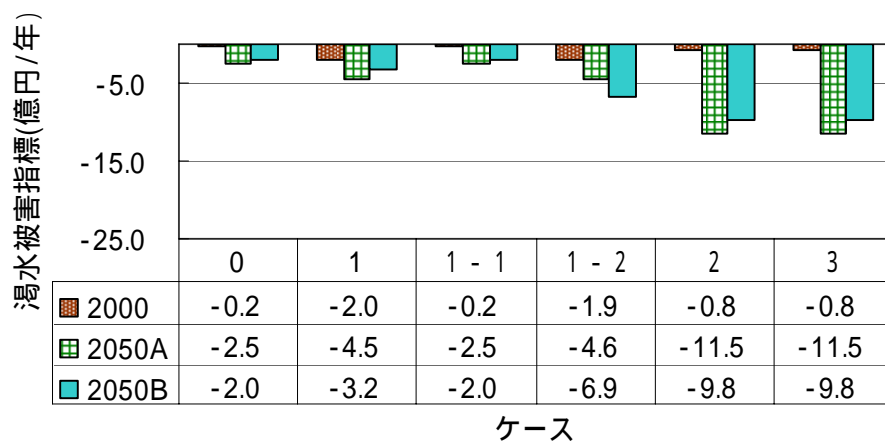


図6-3-2(4) N流域におけるシナリオ別喝水被害指標

## (2) 平常時事故・地震断水被害指標

表6-2-4(1)で示した将来人口等をもとに、5章5-2-2と同じ手法で将来シナリオ(2050A, B)における上水道の配管内訳を求めた結果を表6-3-2(1)、(2)、(3)に示す。人口の減少により配管延長は現状(2000)比べ、I流域で67km、N流域で117km減少している。I流域でA, Bで管径内訳が異なるのは、給水量の設定を変化させているため表5-2-2(1)に示した給水規模別管径割合が異なるためである。N流域についてはこの差は生じなかった。図6-3-2(5)～(8)は、これらを基に算定した平常時事故断水被害指標と地震断水被害指標である。

平常時事故被害指標では現状と将来シナリオであまり差は生じてないが、地震断水被害指標では、I流域では0.9～1.1億円/年、N流域では1.2億円/年程度減少している。なお、I流域において2050Aより2050Bシナリオの方が被害額が大きいのは、給水量が少なく小さい管径が多く使用されているために事故発生率が多くなるためである。

表6-3-2(1) I流域における配管内訳(2050A)

(単位:km)

Iモデル	ダクタイル鋳鉄管		鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計
管径(mm)	耐震型	その他						
50～100	19	318	4	80	209	11	28	668
150～250	17	292	2	89	13	0	8	422
300～500	4	65	1	26	0	0	1	97
600～700	0	6	0	0	0	0	0	7
800～900	0	1	0	0	0	0	0	1
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	40	682	7	196	222	11	37	1196

表6-3-2(2) I流域における配管内訳(2050B)

(単位:km)

Iモデル	ダクタイル鋳鉄管		鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計
管径(mm)	耐震型	その他						
50～100	20	338	4	85	222	11	29	709
150～250	16	268	2	82	12	0	7	388
300～500	4	65	1	25	0	0	1	97
600～700	0	1	0	0	0	0	0	2
800～900	0	0	0	0	0	0	0	1
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	40	673	7	193	234	11	38	1196

表6-3-2(3) N流域における配管内訳(2050A,B)

(単位:km)

Iモデル	ダクタイル鋳鉄管		鋼管	鋳鉄管	ポリエチレン	塩化ビニル	石綿セメント	計
管径(mm)	耐震型	その他						
50～100	8	138	2	35	91	5	12	290
150～250	7	111	1	34	5	0	3	160
300～500	2	29	1	11	0	0	0	43
600～700	0	1	0	0	0	0	0	1
800～900	0	0	0	0	0	0	0	0
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	16	278	3	80	96	5	15	493

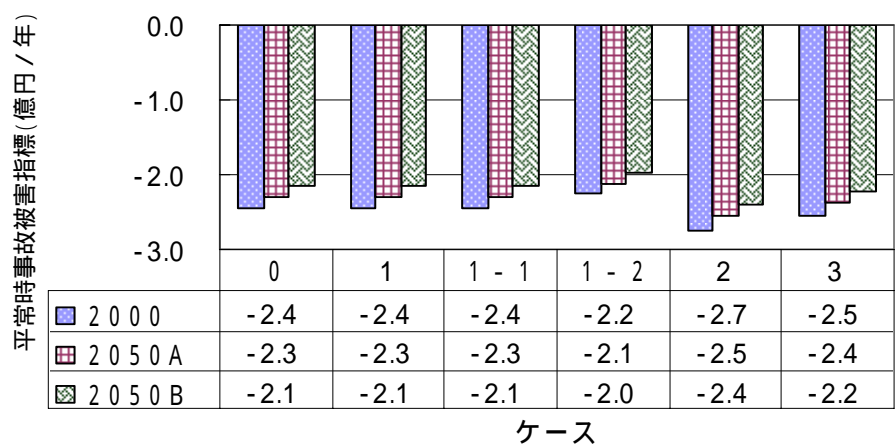


図6-3-2(5) I流域における平常時事故被害指標

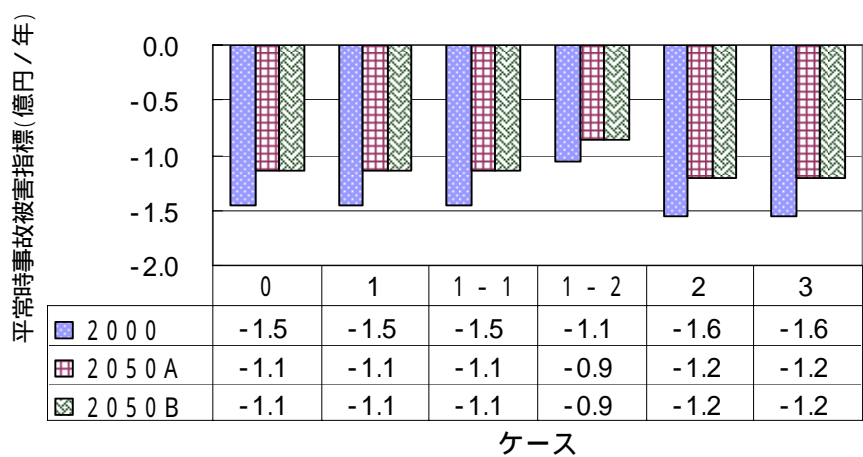


図6-3-2(6) N流域における平常時事故被害指標

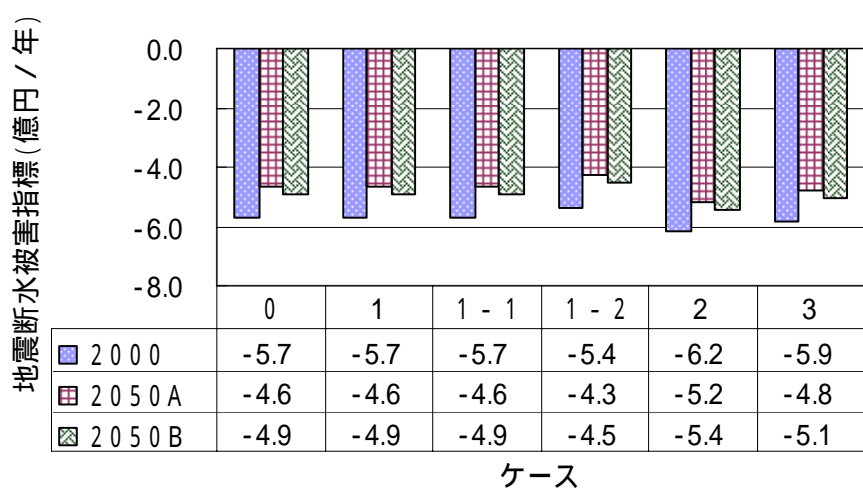


図6-3-2(7) I流域における地震断水被害指標



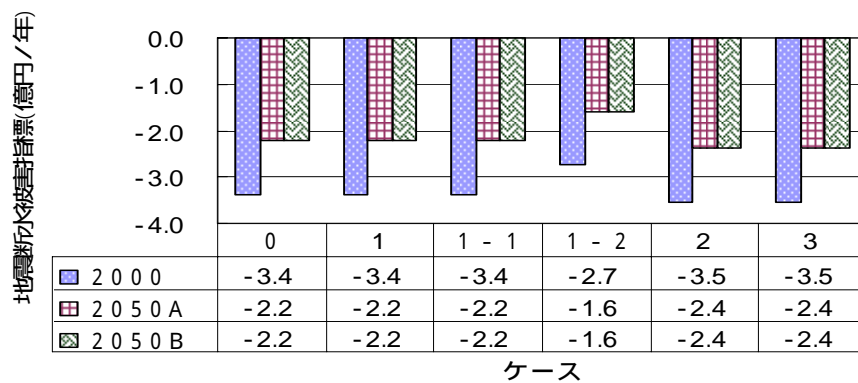


図6-3-2(8) N流域における地震断水被害指標

### (3) 水道指標

渇水被害指標、地震・事故被害指標以外の水道指標である発がん、クリプトスポリジウム、非飲用指標についてもそれぞれ計算を行い評価した水道指標の総括表を図6-3-2(9)～(12)に示す。これによれば、2000年の現況と比して2050年では、I流域のケース1、ケース2において被害度は増大し、指標値は悪化した。またN流域ではケース1-2、ケース2、ケース3の指標値が悪化した。これらは主に渇水被害の影響の差によって生じた。ただし、ここでは、気温上昇が原水水質や上下水道の処理性に及ぼす影響などは考慮していない。

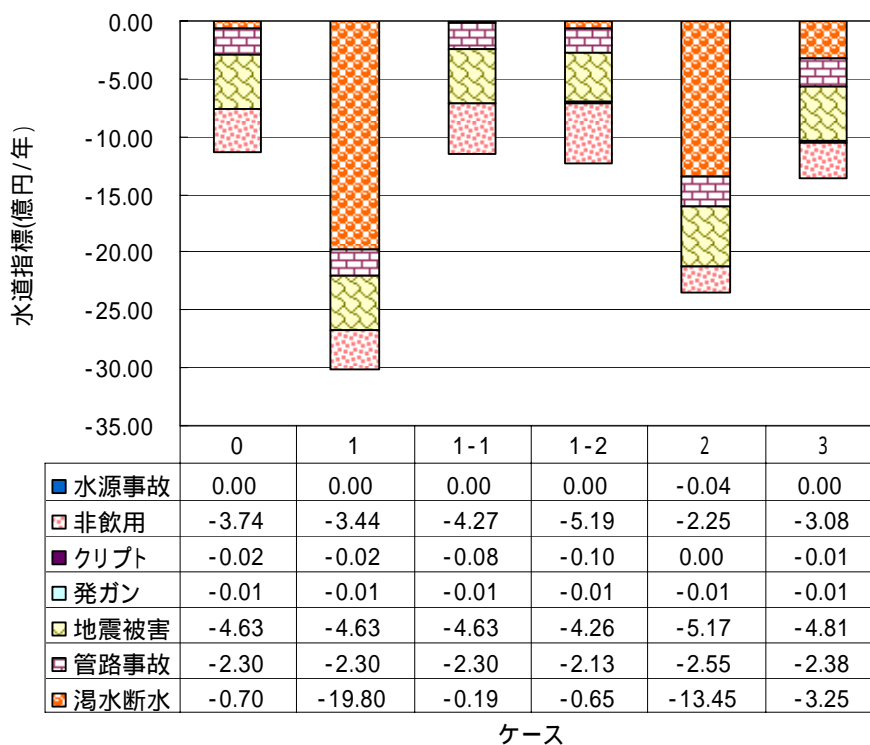


図6-3-2(9) 2050A シナリオを想定したI流域における水道指標総括表

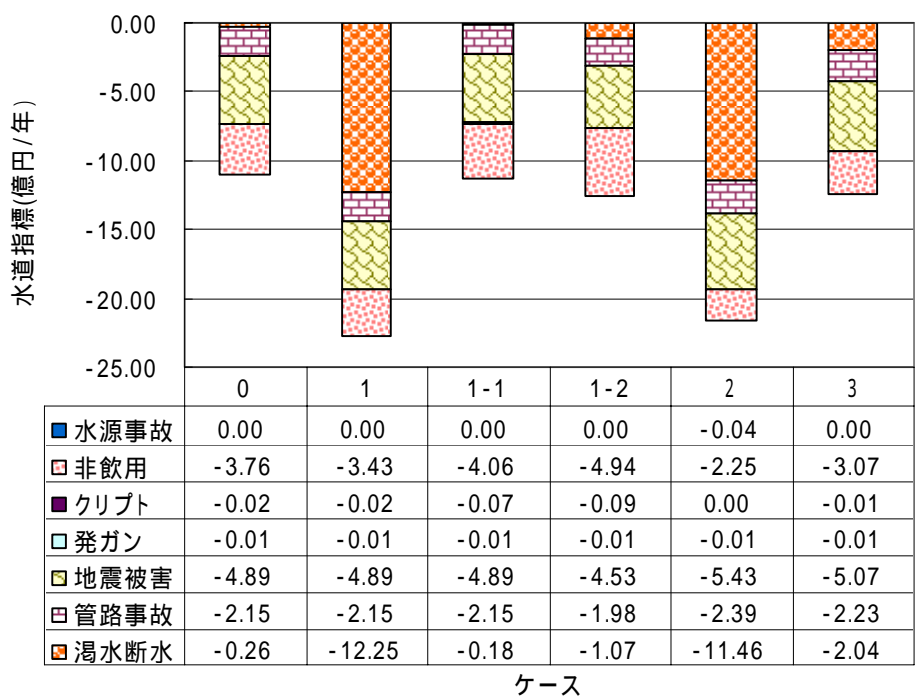


図6-3-2(10) 2050B シナリオを想定したⅠ流域における水道指標総括表

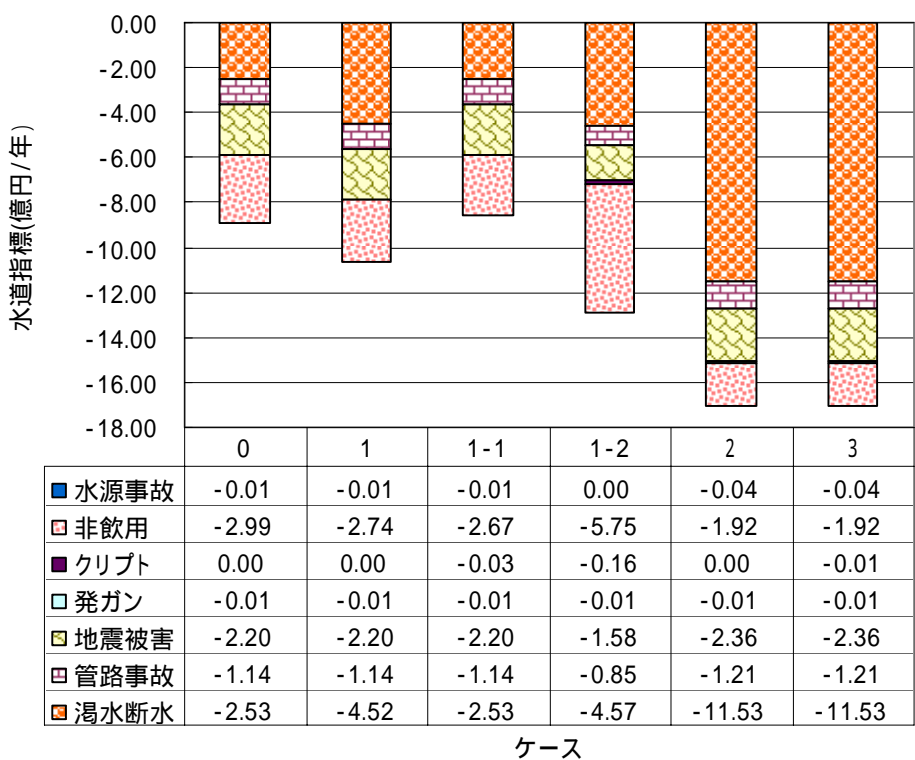


図6-3-2(11) 2050A シナリオを想定したⅡ流域における水道指標総括表

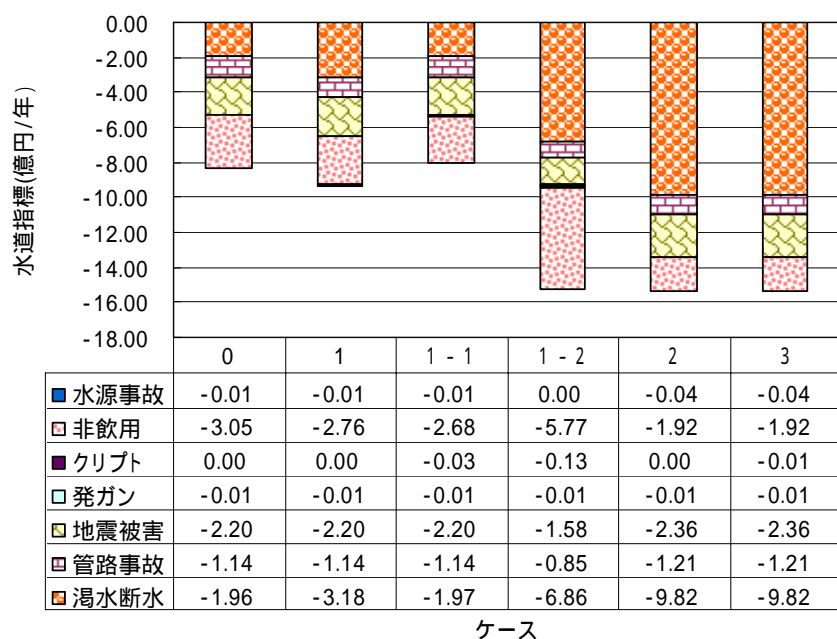


図6-3-2(12) 2050B シナリオを想定したN流域における水道指標総括表

### 6-3-3 地球環境・LCC 指標

#### (1) 地球環境指標

地球環境指標を算出した結果を図6-3-3(1)～(4)に示す。いずれのケースにおいても、現状(2000)に比べ、2050Aシナリオでは人口減少に伴う給水量の減少により地球環境指標は向上する。2050Bでは、人口減少に加え1人当たりの給水量減少により指標値はさらに向上することになる。しかしながら、現状(2000)シナリオの現状ケース0(-7.6億円/年)と比較した場合には、I流域における2050Aシナリオではケース1-2を除いて全て指標は悪化しており、2050Bシナリオではケース2を除き向上するものの、最も向上するケース1-2でも6.3億円/年と1.3億円/年(17%)の向上に止まっている。一方、N流域についてはI流域と同様の理由で現況(2000)に比べ2050A、Bシナリオとも地球環境指標は向上している。しかし流域と異なり、2050A、Bシナリオの全てのケースで現状(2000)シナリオの現況のケース0(-9.2億円/年)より向上している。特に2050Bのケース1-2では、-4.5億円/年と50%向上している。この理由は下水道の整備率がI流域が50%に対してN流域が70%であることから、現状の地球環境指標がI流域よりN流域が悪いことによる。これらと同じ基準として相対的に評価することには問題もあるが、京都議定書などでは時点を固定して削減率を定めていることからここでも同様な評価を行ったものである。

#### (2) LCC 指標

LCC指標についても現状(2000)と2050A、Bシナリオによる評価値(図6-3-3(3)、(4))は、地球環境と同様の傾向を示した。ただし、各ケースの比較では評価の差はあまり生じていない。

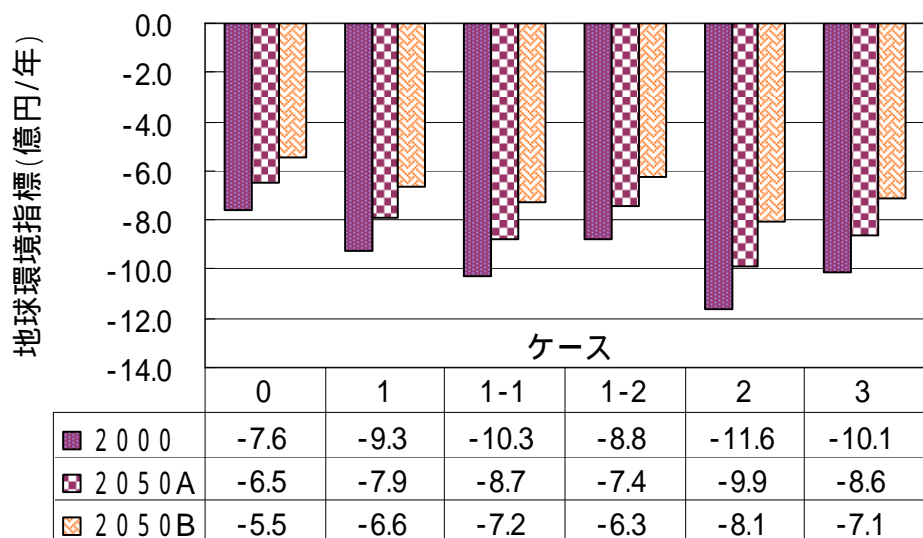


図6-3-3(1) I 流域における地球環境指標のシナリオ別比較

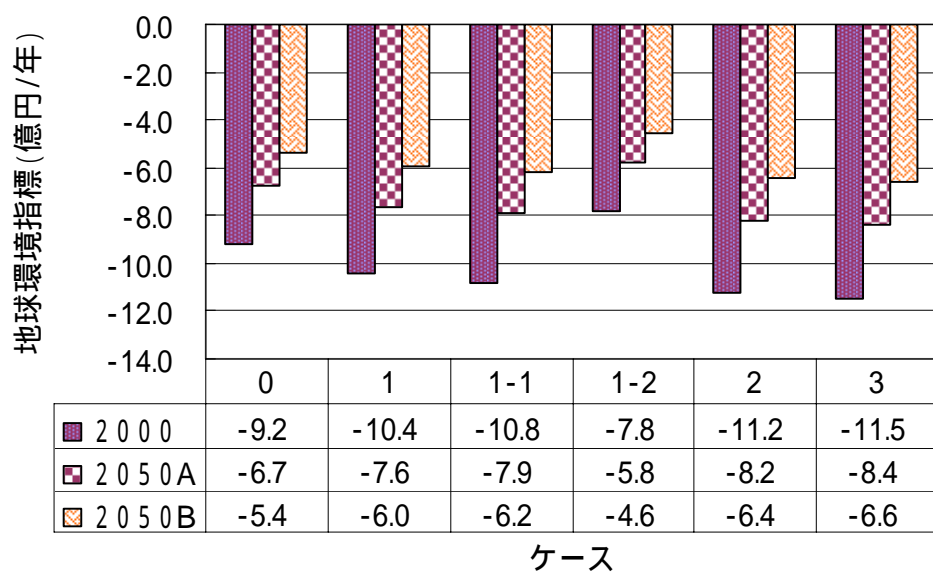


図6-3-3(2) N流域における地球環境指標のシナリオ別比較

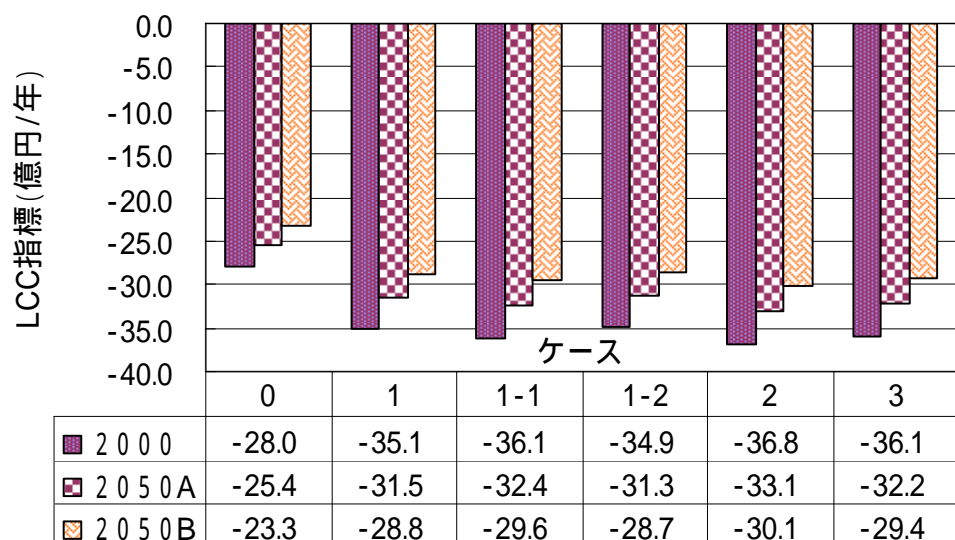


図6-3-3(3) I流域におけるLCC指標の各シナリオ別の比較

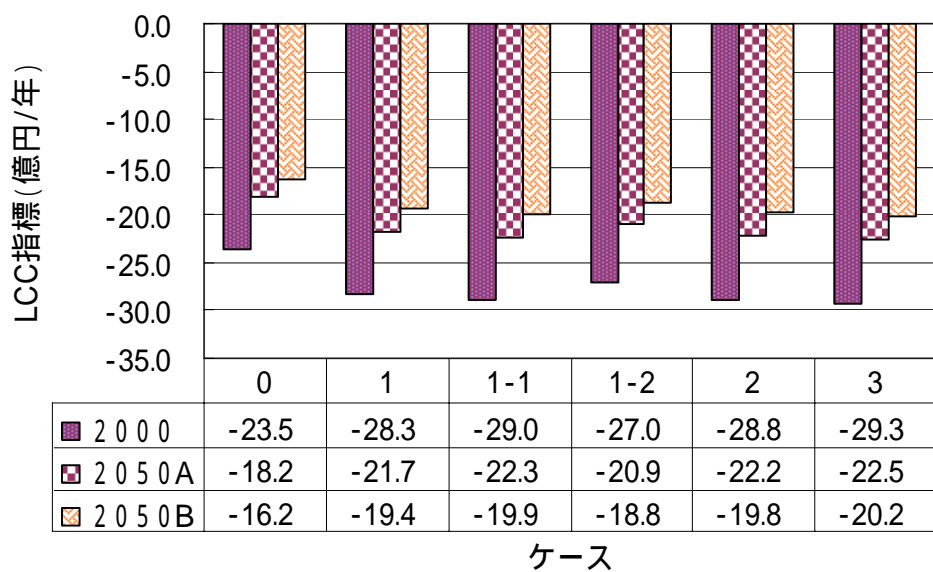


図6-3-3(4) N流域におけるLCC指標の各シナリオ別比較

#### 6-3-4 将来シナリオの総合評価結果

##### (1) I 流域

河川流域指標はケース2、水道指標はケース1 - 1、また地球環境とLCCはケース1 - 2がA、Bとも最も高く評価され、総合評価では、ケース1 - 1が最も高くなった。ただし、最も高く評価されたケース1 - 1と自律分散型のケース1 - 2の差は0.2～0.6億円/年とわずかであった(表6-3-4(1)(2))。

表6-3-4(1) 2050A シナリオによるI流域における総合評価の結果 (単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	6.9	6.4	9.4	7.6	<b>9.8</b>	8.8
水道指標	-11.4	-30.2	<b>-11.5</b>	-12.4	-23.5	-13.5
地球環境	-6.5	-7.9	-8.7	<b>-7.4</b>	-9.9	-8.6
小計	-11.0	-31.7	<b>-10.8</b>	-12.2	-23.6	-13.4
LCC-エネ	-25.4	-31.5	-32.4	<b>-31.3</b>	-33.1	-32.2
総合計(域水指標)	-36.4	-63.3	<b>-43.3</b>	-43.5	-56.7	-45.6

表6-3-4(2) 2050B シナリオによるI流域における総合評価の結果 (単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	10.5	10.5	12.8	11.5	<b>13.1</b>	12.4
水道指標	-11.1	-22.7	<b>-11.3</b>	-12.6	-21.6	-12.4
地球環境	-5.5	-6.6	-7.2	<b>-6.3</b>	-8.1	-7.1
小計	-6.1	-18.8	<b>-5.8</b>	-7.4	-16.6	-7.2
LCC-エネ	-23.3	-28.8	-29.6	<b>-28.7</b>	-30.1	-29.4
総合計(域水指標)	-29.4	-47.6	<b>-35.4</b>	-36.1	-46.7	-36.6

##### (2) N流域

河川流域指標はAシナリオではケース1 - 1とケース3、Bシナリオではケース3、水道指標はA、Bともケース1 - 1、地球環境とLCCはA、Bともケース1 - 2が高くなり、総合評価ではA、Bともケース1 - 1が最も高く評価された。ケース1 - 1とケース1 - 2との差は、2.2～5.2億円/年とI流域より大きなものとなった(表6-3-4(3)(4))。

表6-3-4(3) 2050A シナリオによる N 流域における総合評価の結果 (単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	-13.3	-13.3	<b>-11.1</b>	-12.5	-12.6	<b>-11.1</b>
水道指標	-8.9	-10.6	<b>-8.6</b>	-12.9	-17.1	-17.1
地球環境	-6.7	-7.6	-7.9	<b>-5.8</b>	-8.2	-8.4
小計	-28.9	-31.5	<b>-27.6</b>	-31.2	-37.9	-36.6
LCC-エネ	-18.2	-21.7	-22.3	<b>-20.9</b>	-22.2	-22.5
総合計(域水指標)	-47.1	-53.3	<b>-49.9</b>	-52.1	-60.0	-59.1

表6-3-4(4) 2050B シナリオによる N 流域における総合評価の結果 (単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	-10.6	-10.2	<b>-8.8</b>	-9.6	-9.7	<b>-8.6</b>
水道指標	-8.4	-9.3	<b>-8.0</b>	-15.2	-15.4	-15.4
地球環境	-5.4	-6.0	-6.2	<b>-4.6</b>	-6.4	-6.6
小計	-24.4	-25.5	<b>-23.0</b>	-29.4	-31.5	-30.5
LCC-エネ	-16.2	-19.4	-19.9	<b>-18.8</b>	-19.8	-20.2
総合計(域水指標)	-40.6	-44.9	<b>-43.0</b>	-48.2	-51.2	-50.7

#### 6-3-4 総合評価結果に関する考察

「流域水資産健全度指数」(域水指標)による総合評価の結果、人口密度が高い N 流域に関しては、A,B シナリオとも現状(2000)シナリオと同じく、現在のシステムで下水処理水を河川へ還流するケース1-1が最も高い評価となった。一方、N 流域に比して人口密度が低い I 流域に関しては、現状シナリオではケース3が高い評価であったが、2050シナリオでは、ケース1-1が高い評価となった。また、I流域ではケース1-1と水源を他流域に頼らない自律分散型のケース1-2との差は小さく、流域特性によって評価が異なる結果となった。また、A シナリオでは N 流域におけるケース1-1を除いたいずれのケースにおいても指標値は現状(2000)シナリオの現状ケース0より悪化した。

以上より、上下水道システムにとって地球温暖化は、特に渇水被害の増大という点で無視できない影響を与えること(図6-3-2(1),(2)渇水断水参照)、また次世代へ向けた上下水道システムの構築にあたって、下水処理水の活用が大きな役割を担うこと、現状より総合評価結果を向上させるためには、節水型施策であるシナリオBを取る必要があることが示された。さらに、地球温暖化対策の視点では CO<sub>2</sub> 負荷の最も少ない自律分散型システムへの移行が望ましいといえるが(図6-3-3(1),(2)参照)、I流域の2050Bにおける総合評価では、ケース1-1は自律分散型であるケース1-2より0.6(億円/年)上回っている(表6-3-4(2) 2050B の合計参照)。これは主に図6-3-2(1)に示す水道指標の渇水断水被害の差(0.9億円/年)であり、今後、エネルギー負荷や LCC を考慮した上で、雨水、下水処理水の効果的活用な

どによる渇水被害対策の更なる推進が必要であることを示している。

またI流域において、シナリオBを取ったとしても、域水指標では2000年現状ケース0の-36.5億円/年(第5章表5-4-1(1))と比較して、0.9億円/年と率にして2%しか向上しておらず、地球環境指標に関しては、ケース1-2を取ったとしても2000年と比較して17%程度の向上に止まっている(図6-3-3(1))。

一方N流域では、地球環境指標で2000年(現状)の-9.2億円/年(図6-3-3(2) 2000 ケース0)に対して3.0~4.6億円/年(33~50%)向上しており、域水指数も-52.6億円/年(5章表5-4-1(2) ケース0)から9.6億円/年(18%)向上している(表6-3-4(4) ケース1-2、ケース1-1)。しかしながら域水指数はI流域に比して依然として大きなマイナスとなっており、また流域人口一人当たりで見れば、2000年の-2.1から-2.4(万円/人/年)に悪化している。これらは将来的な社会自然環境の変化に対して、これまで検討した給水システムの変更や節水政策だけでは、流域の健全な水循環の形成や次世代へ向けた望ましい上下水道システムの構築は困難との結果を示すものであり、更なる新たな対策が必要と考えられる。この新たな対策検討に当たっては、今後目指すべき望ましい流域と上下水道システムの将来像を想定し、これを実現するために流域や上下水道システムが確保すべき目標とその基準を設定する必要がある。

## 6-4 結 語

本章では、I、N流域での将来(2050年)の自然・社会状況として、温暖化による平均気温の2℃上昇、年間降雨量の2%減少、時間最大雨量の13%増大、人口の20~30%減少などを想定し、水道の一人当たり給水量が現状を維持するシナリオAと節水等により30%程度減少するシナリオBを設定した。

これらの条件の下でI、N流域において現状(2000)シナリオと同じ上下水道再構築パターンについて総合評価を実施した結果、I、N流域のABどちらもシナリオも、現状の上下水道システムを維持し下水処理水を河川に還流するケース1-1が最も高い評価となったが、I流域では自律分散型のケース1-2との差はわずかであった。また、今回設定した現状を含め6ケースの上下水道システムだけでは、次世代へ向けた望ましい上下水道構築には不十分との結果を得た。

## 第6章 参考文献

- 1) 環境省:2050 日本低炭素社会シナリオ:温室効果ガス70%削減可能性検討,2007.
- 2) 気象庁:気象統計情報(大阪年ごとの値),2007.
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所:日本の将来推計人口(平成14年1月推計),2002.
- 4) 農林水産省:H18 年度食料自給率レポート:2007.



## 第7章 次世代へ向けての望ましい上下水道システムの検討

これまでの検討で「流域水資産健全度指数」を用いて今後のモデル流域における上下水道システムについて現況(2000)と将来(2050A、B)シナリオで各6つのケースで評価し、次世代へ向けてのより望ましいシステムを抽出したが、このシステムが持続可能性と符合するかどうかの評価までには至っていない。

本章では、第1章で検討した持続可能性の定義「環境容量の中でのより効率的な社会経済発展」も踏まえて、次世代へ向けての望ましい上下水道システムを実現するための目標値を設定し、これを達成するための新たな方策を検討する。

### 7 1 目指すべき上下水道システムの評価基準

目指すべき今後の新たな上下水道システムの検討に当り、まずその前提となる持続可能な社会の将来像とは何かを把握する必要がある。

「環境から拓く 新たなゆたかさへの道」と題された第3次環境基本計画<sup>1)</sup>では、「持続可能な社会」とは、“健全で恵み豊かな環境が地球規模から身近な地域までにわたって保全されるとともに、それらを通じて国民一人一人が幸せを実感できる生活を享受でき、将来世代にも継承することができる社会”であり、そのためには、社会の基盤としての環境が適切に保全されるとともに、経済的側面、社会的側面も統合的に向上することが求められる。」とし、今後の政策検討に当たっては、50年から100年の長期的な視野に立った将来像を示す超長期ビジョンの必要性が示された。これを受けた環境庁の「目指すべき2050年の日本と世界の環境像」<sup>2)</sup>では、環境保全と社会経済活動の両面において持続可能性が確保された望ましい将来像(環境像)として、以下のような2050年の目指すべき環境像を設定している。

#### 7-1-1 わが国の環境・社会の将来像

##### (1) 環境・社会の将来像

###### 低炭素社会から見た環境像

世界全体の温室効果ガスの排出量が大幅に削減され、将来世代にわたり人類及び人類の生存基盤に対して悪影響を与えない水準で温室効果ガスの濃度が安定化する方向に進んでいる。

###### 循環型社会から見た環境像

資源生産性、循環利用率が大幅に向上し、これに伴って最終処分量が大幅に減少している。

バイオマス系の廃棄物の有効利用をはじめとして、廃棄物からの資源・エネルギー回収が徹底して行われている。

###### 自然共生社会から見た環境像

農山村が活性化することにより、里地里山が適切に管理され、野生鳥獣との共存が図られている。

都市周辺においても豊かな生物多様性を育む地域が広く残されている。

###### 快適生活環境社会から見た環境像

環境汚染によるリスクの環境監視が適切に行われ、生命、健康、生活環境に悪影響を及ぼすリスクが

なくなっている。

大都市部の大気汚染、ヒートアイランドが解消され、人々が健康で快適な生活を確保できる水辺環境も回復している。

#### 社会像

わが国は少子高齢化が進み、総人口が減少、高齢者比率が増加し、就業者数は減少している。しかし、労働生産性の向上により日本経済は成長を維持するとともに、環境負荷の少ない持続可能な社会を実現している。

#### (2) 国土・社会資本の将来像

将来像の具体例として、国土・社会資本的側面に関しては

コンパクトで住みやすく便利な中心市街地が増加、環境の観点からのまちづくりが浸透、自然を体感できる公園緑地などを備えた特色ある郊外地域が出現、適切な農地・森林管理の浸透、などが示され、具体的な対策として

- ・身近な水の恵みを最大限に活用するための住宅・建築物での雨水利用システムの整備。
- ・再生エネルギーの活用のための風力発電、太陽光発電、太陽熱利用の利用拡大。
- ・渇水や洪水による被害と対策コストを最小限に抑えるための気候・気象予測の精度向上、土地利用のゾーニングの実施、雨水貯留・浸透施設の整備。

などが挙げられている。またこれらの実施に伴う環境への影響が検討され、「以上に示した環境像・社会像を2050年において実現することは可能であるが、その実現に向けた道筋は容易ではない。2050年の目標像を視野に入れつつ、大幅な二酸化炭素排出量の削減へ向けてのあらゆる対策の動員と技術開発など、長期的な視点に立って、現時点から導入可能な様々な対策を導入することが、持続可能な社会の実現において必要となる。」としている。

#### 7-1-2 目指すべき流域及び上下水道システムの将来像

以上の国が示す望ましい将来像と持続可能性の観点からの環境の制約要件、さらに上下水道の長期ビジョン等を踏まえ、次世代へ向けて目指すべき流域と上下水道システムの将来像を設定する。

##### (1) 低炭素社会の実現

- ・上下水道においてもシステムの再構築等により地球環境指標の大幅な向上を実現。

##### (2) 循環型社会の実現

- ・下水処理水の活用や、流域の雨水貯留・浸透施設や住宅・建築物での雨水利用システムが整備され、渇水や浸水被害が大幅に減少。
- ・施設の耐震化や長寿命化によりコストや断水被害等が減少、下水処理水は100%循環利用

##### (3) 自然共生社会の実現

- ・適切な農地・森林管理が行われ、生態系に配慮した河川や水路が増加。
- ・農地面積の大幅な増加と河川自然指標の大幅低減。

##### (4) 快適生活環境社会の実現

- ・コンパクトで住みやすく、便利な中心市街地が増加、水や緑に親しめる空間が増大。
- ・安全でおいしい水を安定的に供給。

### 7-1-3 次世代へ向けた望ましい上下水道システム構築のための条件設定

7-1-2で示した流域や上下水道システムの将来像の実現には、表7-1-3(1)に示す以下の条件が満たされるものとする。

#### (1)「流域水環境健全度指数」がプラス

流域の水システムの健全度を示す総合指標として今回設定した「流域水資産健全度指数」の中で、「流域指標」が唯一プラスで評価されるものであり、これには第3章の表3-1-2(1),(2)に示したように森林の二酸化炭素吸収や化石燃料の代替、保健リクリエーション機能、農地と湖沼等水面には有機性廃棄物処理、気候緩和、保健休養・安らぎ機能が含まれ、流域の人間活動の許容能力と流域の環境が提供するサービスを示すものと考えることが出来る。一方「地球環境指標」は、CO<sub>2</sub>の排出と化石エネルギーの消費であり、また、「河川指標」は、洪水や水質の悪化、コンクリート護岸など被害や望ましくない環境を示すものである。さらに「水道指標」も渇水や事故による断水や水質による被害を示すものであり、これらは流域内における水に関わる人間活動で発生する負荷と人間が被る被害の合計である。持続可能性の観点から、流域における水環境と人間生活の健全性を維持していくためには、流域の自然が有する許容能力と環境が提供するサービス内で社会生活が行われるべきであるとすれば、「流域指標」は一つの環境容量と位置づけることができる。ここでは、流域の健全性を評価する基準値の一つとして、この「流域指標」を流域での水にかかわる人間活動の許容枠に設定し、「河川指標」と「水道指標」と「地球環境指標」とこの「流域指標」の合計値を「流域水環境健全度指数(域水環境指数)」として、これがプラスになることを一つの目標として設定する。

$$\text{「流域指標」} + (\text{「河川指標」} + \text{「水道指標」} + \text{「地球環境指標」}) = \text{「流域水環境健全度指数」} > 0$$

#### (2)地球環境指標の20～40%削減。

2050日本低炭素社会シナリオ<sup>3)</sup>では、CO<sub>2</sub>排出量70%削減は、エネルギー需要の40～45%削減とエネルギー供給の低炭素化によって可能となるとし、産業部門では構造転換と省エネルギー技術導入などで20～40%の削減が必要としている。

これに基づき上下水道システムについては効率的な上下水道システム構築により、エネルギー利用とCO<sub>2</sub>排出量が減少し、地球環境(LCA)指標を20～40%削減するものとする。

#### (3)下水処理水の100%活用。

高度処理された下水道の処理水が、全て流域内で水道水源等として有効活用されている。

表7-1-3(1) 次世代へ向けた望ましい上下水道システム構築のための制約条件

	制約項目	制約条件
(1)	「流域水環境健全度指数」	> 0
(2)	「地球環境指標」	現状より20～40%削減
(3)	下水処理水活用	100%

## 7 - 2 次世代へ向けた上下水道構築への新たな方策

### 7-2-1 新たな方策メニューと検討フロー

土木学会特別委員会報告「人口減少下の社会資本整備のあり方」<sup>4)</sup>では「我々が「執るべき戦略は」ととと、人類と他の生物との「共生」であり、そのためには太陽による「自然循環の多用」、物質エネルギー経路での「質の多段階利用」と施設・道具の「長寿命化」と必要最小限度の「物質の再生循環」の導入等が必要」として、「共生の時代に生きようとすれば、人間社会は他の諸生物との間で「戦略目的の異なる空間」を「境界を明確に設計して」設定し、国土を適切に分割・運営していく必要がある。」としている。

表 7-2-1(1) 次世代へ向けた新たな方策

	新たな方策のメニュー	目的及び内容
	流域対策	渇水や浸水被害軽減のための雨水浸透施設等の導入
	膜処理施設の導入	安全でおいしい水の安定的供給
	管路の高機能化	耐震管路や長寿命管路の導入
	2元給水システムの導入	主に飲用の上水と洗浄用の中水を分離して供給
	都市のコンパクト化	都市近郊農地及び環境負荷の少ない中心市街地の増加
	土地利用誘導	洪水被害の軽減や自然緑地増大

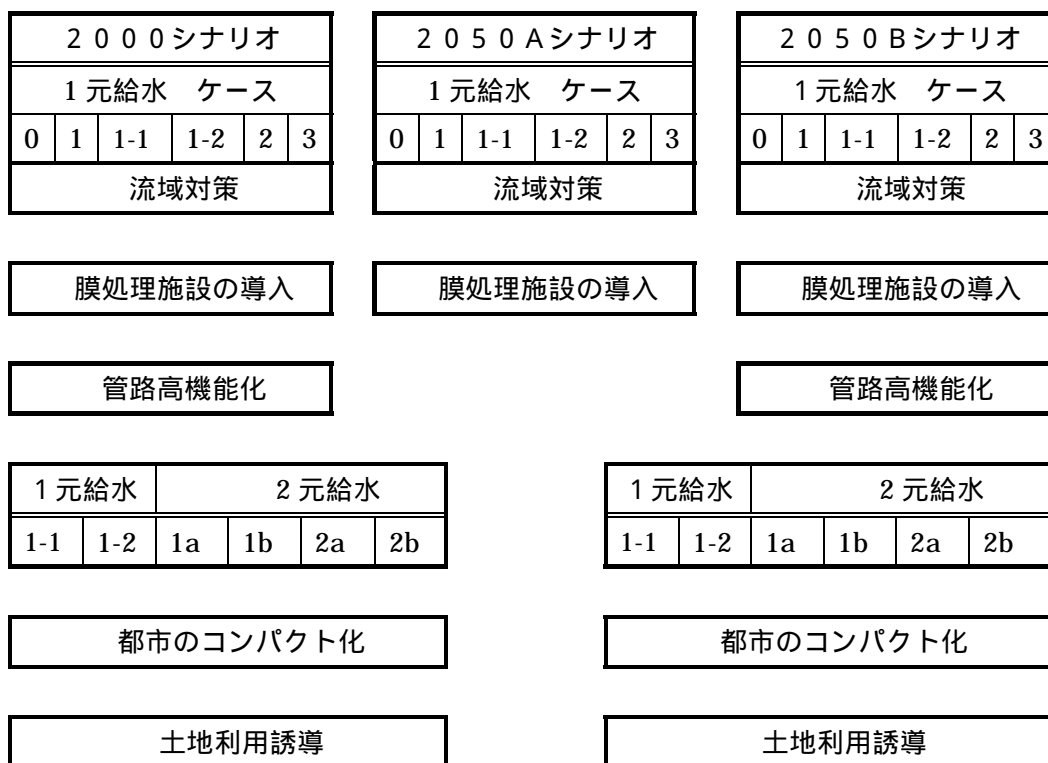


図 7-2-1(1) 新たな対策のメニューと検討フロー

こうした視点を踏まえ、次世代へ向けた新たな上下水道システムを実現するために 7-1-2 に示した将来像を基に表 7-2-1(1)に示す対策メニューを選択し、図 7-2-1(1)のフローでそれぞれの効果について検討した。

## 7-2-2 流域対策の評価

上下水道システムは、流域における水循環系の一部をなすものであり、次世代へ向けて望ましいシステムの構築に当たっては、その前提として、健全な水循環系が形成されることが不可欠である。第1章で詳述したように今日の水循環系は種々の課題を抱えており、流域対策を含む総合的な対策が必要とされている。

### (1) 流域対策のメニュー

健全な水循環の形成へ向けての(中間報告)では、水循環系の問題点に対する対応策のイメージが表 7-2-2(1)に示すように例示されており、これらの項目から、上下水道システムに関連する項目を以下のとおり選定し、表 7-2-2(2)、表 7-2-2(3)に示す流域対策のメニューを検討した。

#### ・流域の貯留浸透・かん養能力の保全・回復・増進(水を貯える・水を育む)

の森林の適正な管理に関しては、地球温暖化に森林生態系がどのように反応するかは未だ不明な部分が多いが、適切な森林管理を行わない場合には、森林はそのまま高齢化し、成長に伴う二酸化炭素吸収能は着実に低くなって行くとされている。ただし、管理方針によって治水効果、水源涵養機能が異なるとの報告もあり、ここでは、森林保全が域水指標に及ぼす効果の検討は除いた。については、人口減少に伴う宅地の自然緑地への土地利用変化として前章で検討しており、ここでは の雨水貯留浸透施設(調節池等)の整備として、透水性舗装、浸透マス浸透トレンチ、調整池を検討した。

#### ・水の効率的利活用(水を上手に使う)

の水の効率的利用については、水資源の有効利用や経費削減、LCA などこれまで多くの検討がなされているが、下水の処理水再利用については、水質や LCC 面からの課題が多いとされており<sup>5)</sup>、風呂水を洗濯や水洗トイレに利用する家庭内カスケード利用、雨水の各戸貯留を検討した。の下水処理水の河川還元については、これまでに検討を行ってきている。

#### ・水質の保全・向上(水を汚さない・水をきれいにする)

の水質汚濁負荷の発生源対策の推進として下水道整備、の污水处理施設の整備促進、高度処理の推進に関する下水高度処理の導入、の水道における高度浄水処理の導入、の取排水地点の再編等による取排水システムの最適化に関する取水箇所分散配置については、いずれもこれまでの検討に含めている。

表7-2-2(1) 水循環系の問題点に対する対応策

項目	対応メニュー案
<p>)流域の貯留浸透・かん養能力の保全・回復・増進 (水を貯える・水を育む)</p>	<p>森林の適正管理による水源かん養機能の維持・向上 農地の適切な保全・整備・利用による自然循環機能の維持増進 都市域における緑地の保全・整備 河川護岸等の再自然化による浸透能力増進 雨水貯留浸透施設(調節池等)の整備等</p>
<p>)水の効率的利活用 (水を上手に使う)</p>	<p>節水、水利用の合理化 雨水の有効利用、下水処理水等の再利用 工業用水の回収利用の推進 下水処理水等の河川還元 流域を越えた相互水運用 用途間の水転用 異常渇水時の円滑な水融通 災害時等に備えた身近な水源の整備と用水供給システムの確保 既存施設の機能維持・向上(ダム群連携等) 自然・社会事情の変化に対応した水資源開発 地下水利用の適正化と代替水源の確保等</p>
<p>)水質の保全・向上 (水を汚さない・水をきれいに する)</p>	<p>水質汚濁負荷の発生源対策の推進 污水处理施設の整備促進、高度処理の推進 生活排水負荷を抑制するための住民の取り組みの支援 非特定汚染源対策の推進 森林、農地、水域における保全・浄化機能の維持・向上 公共用水域及び地下水の直接浄化対策の推進 水道における高度浄水処理 取排水地点の再編等による取排水システムの最適化 有害化学物質等のモニタリングと調査研究の推進等</p>
<p>)水辺環境の向上 (水辺を豊かにする)</p>	<p>都市域、集落内の水面確保 河川・水路等の維持流量、環境用水の確保 水辺の保全・整備 環境との調和に配慮した施設整備等</p>

表7-2-2(2) 現況(2000)シナリオにおける流域対策のメニューと対策数量

2000シナリオ	対策メニュー	対象地域場所	I流域	N流域	単位
(1) 流域の貯留浸透	透水性舗装	市町村道	5.57	2.9	km <sup>2</sup>
	浸透マス・トレンチ	中高層地区	10.95	9.25	km <sup>2</sup>
	流域調整池	公園	2.67	0.84	km <sup>2</sup>
	ため池活用	農業用ため池	2.6	1.7	km <sup>2</sup>
(2) 水の効率的利活用	家庭内カスケード利用	各家庭	72.8	59.7	千戸
	各戸貯留	各家庭	56.4	52.3	千戸
	下水処理水の河川還流	河川	1～3	1～3	箇所
(3) 水質の保全・向上	下水道整備	下水道計画区域	25	20	km <sup>2</sup>
	取水箇所分散配置	〃	3	3	箇所

表7-2-2(3) 将来(2050)シナリオにおける対策メニューと対策数量

2050シナリオ	対策メニュー	対象地域場所	I流域	N流域	単位
流域の貯留浸透	透水性舗装	市町村道	6.12	3.68	km <sup>2</sup>
	浸透マス・トレンチ	中高層地区	9.20	6.48	km <sup>2</sup>
	流域調整池	公園	2.67	0.84	km <sup>2</sup>
	ため池活用	農業用ため池	2.6	1.7	km <sup>2</sup>
水の効率的利活用	家庭内カスケード利用	各家庭	61.2	42.8	千戸
	各戸貯留	各家庭	47.4	37.7	千戸
	下水処理水の河川還流	河川	1～3	1～3	箇所
水質の保全・向上	下水道整備	下水道計画区域	21	14	km <sup>2</sup>
	取水箇所分散配置	〃	3	3	箇所

## (2) 透水性舗装

## 効果

道路舗装を透水性に変更することにより降雨の流出状況が変化し以下に示す効果が期待される

(7-2-2(4))。

## 洪水被害の軽減

透水性舗装により路面からの降雨流出は自然地(森林)の状況になるものとし、第3章 3-1-1(3)で示した洪水指標で示した自然域の流出係数( $f = 0.6$ )を用いることとした。

## 平常時流量の増加

道路からの降雨の流出が森林と同等の状況になるものとし、対象道路の流出率を0.9 0.2、蒸発散抵抗係数を0.32 0.72とした。

#### 水質改善

過去に種々の検討がなされているが、いずれも降雨流出に伴うものであり、年間値での調査結果は少なく、また道路の清掃が大きく寄与するとされていることから、ここでは直接的な効果は考慮せず、年間流量の減少による比流量の減少が水質改善に寄与するものとした。

#### 費用

整備単価は、10千円/m<sup>2</sup>程度であるが、通常舗装と単価的に大きな差がないことから新たな費用は発生しないものとした。維持管理費についても通常の範囲に含まれるものとした。

表 7-2-2(4) 透水性舗装の効果

道路舗装面	通常舗装	透水性舗装	備考
流出率	0.9	0.2	宅地 森林
蒸発散抵抗係数	0.36	0.72	宅地 森林
COD 負荷流出量 kg/km <sup>2</sup>	39.6	39.6	年間流出流量の減
洪水時流出係数	0.9	0.6	市街地 自然地

#### 建設場所

透水性舗装は、現在、車道以外の歩道や駐車場で実施されているが、車道での実施も開始されつつある。今後順次整備範囲が拡大すると考えられることから、ここでは、市町村道路が全て透水性舗装化するとし、I、N流域における導入面積は対象地区の市道面積とした。

### (3) 浸透マス・トレンチ

#### 効果

##### 水被害の軽減

住宅地に浸透マスおよび浸透トレンチを設置することにより、降雨流出は浸透性舗装と同様、自然地(森林)の状況に戻るものとし、流出係数をf:0.9 0.6とした。

##### 平常時流量の増加

土地利用の宅地が森林に変化するものとし、流出率0.7 0.2蒸発散抵抗係数0.36 0.72とした。

#### 水質改善効果

種々の検討がなされているが、年間平均水質に関するものは少なく、ここでは年間負荷量は変化せず、年間総流出量の減少による比流量の減少が水質改善に寄与するものとした。

#### 設置数量

整備数量:単位浸透量は、寝屋川流域対策基準(以下「寝屋川基準」)<sup>6)</sup>より次式で算定した。



$$Q = C \times K_0 \times K_f$$

ここで、Q:単位設計浸透量(浸透施設1m、1個あるいは1m<sup>2</sup>当りのm<sup>3</sup>/hr)

C:影響係数(C1×C2=0.81)

C1(地下水位による低減係数)=0.90

C2(目づまりによる低減係数)=0.90

Kf:比浸透量(m<sup>2</sup>)で、表7-2-2(5)に示す式で計算される。

浸透マスは W = 0.5m、H=0.8m、浸透トレンチとして W = 0.75m、H=0.75mを採用することとした。

K<sub>0</sub>は飽和透水係数(m/hr)で土地の土質条件より下表で決定される<sup>7)</sup>。

表 7-2-2(5) 比浸透量の計算式

浸透マス	浸透トレンチ
$K_f = a \cdot H^2 + b \cdot H + c$	$K_f = a \cdot H + b$
$a = 0.12 \cdot W + 0.985$	$a = 3.093$
$b = 7.837 \cdot W + 0.82$	$b = 1.34 \cdot W + 0.677$
$C = 2.858 \cdot W - 0.283$	

表 7-2-2(6) 土質条件別飽和透水係数

種別	粘土	シルト	微細砂	細砂	中砂	粗砂	小砂利
粒径(mm)	0 ~ 0.01	0.01 ~ 0.06	0.05 ~ 0.10	0.10 ~ 0.25	0.25 ~ 0.50	0.50 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0
K (cm / sec)	$3 \times 10^{-6}$	0.00045	0.0035	0.015	0.085	0.35	3

I、N 流域の地質より、土質状況を微細砂と

して単位浸透量を計算すると表 7-2-2(7)に示す値となった。

これを基に寝屋川基準に準じて時間雨量 50 mmの降雨に対して流出係数を 0.3 低減するために必要な浸透施設の数量を表 7-2-2(8)のとおり設定した。

表 7-2-2(7) 微細砂の単位浸透量

	透水マス	トレンチ
Q	0.572 (m <sup>3</sup> /h/個)	0.408 (m <sup>3</sup> /h/m)
K <sub>0</sub>	0.004 (cm/s)	0.004 (cm/s)
K <sub>0</sub>	0.126(m/h)	0.126(m/h)
C1	0.81	0.81
設計水頭	0.80	0.75
Kf	5.61 (m <sup>2</sup> )	4.00 (m <sup>2</sup> )

表 7-2-2(8) 浸透施設の数量

	単位浸透量		数量		浸透量	
浸透マス	0.57	m <sup>3</sup> / 個・hr	40	個/ha	23	m <sup>3</sup> /hr/ha
浸透トレンチ	0.41	m <sup>3</sup> / m・hr	400	m/ha	163	m <sup>3</sup> /hr/ha
計	0.05m/hr × 0.3 × 10000m <sup>2</sup> = 150m <sup>3</sup> <				186	

建設単価

カタログ等を元に、浸透マス20千円/個、浸透トレンチ:20千円/mとした。

設置場所

宅地内で比較的導入空間が多い都市計画上の中高層地区に導入するものとした。

導入面積は、対象モデル市町村の土地計画区域を基に設定とした(表7-2-2(2),(3)参照)。

#### (4) 流域調節池

##### 効果

##### 洪水被害の軽減

洪水調節用の雨水貯留施設の効果については寝屋川流域基本計画(300m<sup>3</sup>/s/400万 m<sup>3</sup>)を基に0.75 m<sup>3</sup>/s/1万 m<sup>3</sup>とした。

##### 平常時流量の増加

近畿圏における最近のダムの開発実績と計画より開発水量原単位を0.1 m<sup>3</sup>/s/百万 m<sup>3</sup>とした。また、文献<sup>8)</sup>を参考に設置密度を600m<sup>2</sup>/haとした。

表 7-2-2(9) 開発水量と利水容量

ダム名	開発水量/利水容量 (m <sup>3</sup> /s/百万 m <sup>3</sup> )
一庫ダム	0.093
日吉ダム	0.103
大戸川ダム	0.089
安威川ダム	0.147
平均	0.108

##### 水質改善効果:

下水道機構の研究報告<sup>9)</sup>では、満流越流の場合 COD 削減率わずかであり雨水貯留による汚濁負荷削減率は20%とされているが、これは降雨時の効果であり、本研究では平常時効果は0とした。

##### 建設費等

流域調節池は寝屋川流域での設置実績等をもとに10万円/m<sup>3</sup>と設定した。

#### (5) ため池貯留

##### 効果

対象モデル地域は、年間降水量が少なく古くから農業用ため池が多数存在する。近年、農地面積の減少に伴いこのようなため池が埋め立てられて宅地に転用されてきている。対象流域には、現在河川や水路を除く水面積として石川流域で2.6km<sup>2</sup>、西除川流域で1.7km<sup>2</sup>存在する。ここではこれらの池面積の1/2を活用するものとし、その効果は流域調節池と同じとした。

##### 建設費

西除川流域にある農業用ため池の改良により貯水容量を増加させ治水ダムとしての機能を付加した狭山池ダムの本体工事の実績<sup>10)</sup>に基づいて、既存のため池に新たな貯水容量を確保するための建設費用を1.6万円/m<sup>3</sup>とした。

#### (6) 各戸貯留

##### 効果

洪水被害軽減:流域調節池と同様の効果(0.75 m<sup>3</sup>/s/1万m<sup>3</sup>)とした。

平常時流量の増加:生活用水として活用するため平常時の流量増加への効果は0とした。

水質改善効果:調節池と同様、効果は0とした。

利水効果:各戸貯留は、雨水の有効利用による水道使用量の削減を図るものとした。

##### 算定手法

雨水ハンドブック<sup>11)</sup>に従って、集水面積当たりの利水容量  $p(mm) = V(貯留容量)/A(集水面積)$ 、

雨水利用量  $u(\text{mm/日})$ とした場合、大阪の降雨について、 $u=2\text{mm/日}$ として表 7-2-2(10)の数値が示されている。

表 7-2-2(10) 雨水利用率と不足率

$p(\text{mm})$	10	20	30	40
利用率 $e(\%)$	31	24	48	50
不足率 $s(\%)$	37	22	17	13

#### モデル設定

敷地面積の  $1/4$  の雨水を集水して利用するとすれば、

貯水容量：一人当たり  $0.5\text{m}^3$

雨水利用量：一人一日当たり  $0.05\text{m}^3$  (トイレ 40L + 散水 10L) とすると

敷地面積： $A(\text{m}^2)$ 、人口： $P(\text{人})$ として

利水容量  $p(\text{mm}) = 0.5 \cdot P / (A/4) \cdot 1000 = 2000 \cdot P/A$

雨水利用量  $u(\text{mm/日}) = 0.05 \cdot P / (A/4) \cdot 1000 = 200 \cdot P/A$

となる。

#### モデル流域での試算

I、N流域の宅地の人口密度： $P/A=0.01 \sim 0.012\text{人}/\text{m}^2$  (宅地  $A=20 \sim 25\text{km}^2$ 、人口  $P=25\text{万人}$ )

$u=2\text{mm/日}$ 、 $p=20\text{mm}$ 、利用率  $e=24\%$ 、不足率  $s=22\%$ より

削減水量は、 $50\text{L} \times (1-0.22) = 39\text{L/人/日}$ となる。

したがって、一人1日当たり平均水道利用水量は各戸貯留により40L削減可能とする。

#### 建設費

各戸貯水槽パンフレットより、 $200\text{千円}/\text{m}^3$  (ポリエチレン製) とする。

#### (7) 流域対策の効果

以上の流域対策の効果を一覧表にしたのが表7-2-2(11)であり、図7-2-2(1)～(10)に、各ケース別の対策項目ごとの対策効果を示す。

流域調節池については、総合的な効果と総合費用との差がいずれのケースもマイナスと評価されたため対策項目から除外した。

##### I流域での流域対策効果

対策項目では、ため池の地震断水効果が大きく、ケース1では雨水各戸貯留を除き湯水断水効果が大きい。

##### N流域での流域対策効果

I流域と同じく対策項目では、ため池の地震断水効果が大きいと評価されたが、湯水断水効果はケース1 - 2で大きい。

表7-2-2(11) 流域対策効果の総括

	浸透施設	貯留施設	各戸貯留
平常時流量	降雨流出率 $f$ の低減: 透水性舗装 $f$ : 0.9 0.2 浸透マス・レンチ $f$ : 0.7 0.2 蒸発能の増大: $K_n$ : 0.36 0.72	平時流量 $Q_0$ の増大: $Q_0 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{百万 m}^3$	
河川水質	総流出量(比流量)低減による 流達率の減少		
洪水被害度	洪水流出係数 $f_0$ 低減: 0.9 0.6	洪水流量低減: $0.75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{万 m}^3$	
渇水被害度	流況 $Q_n$ 改善: $Q_n + Q_0$		
地震被害度		地震時用水: 貯水率50%	

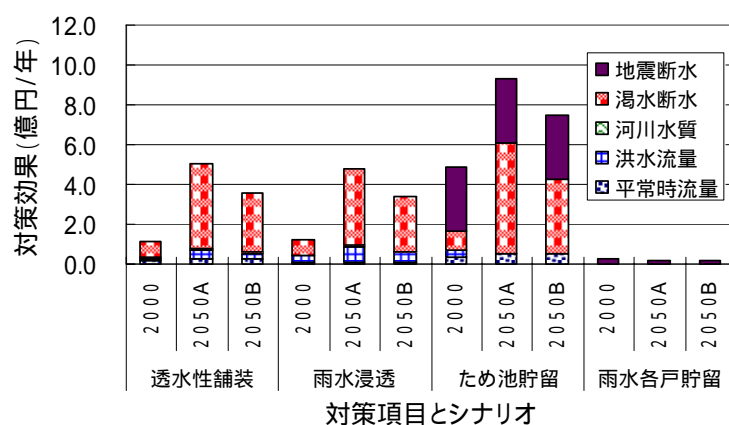


図7-2-2(1) 流域対策の効果(I流域ケース1)

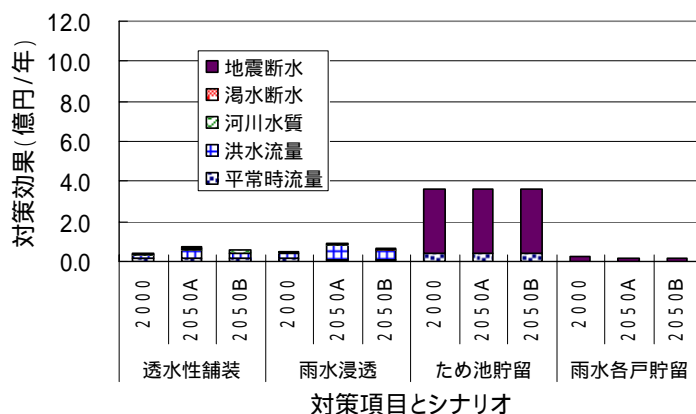


図7-2-2(2) 流域対策の効果(I流域ケース1 - 1)

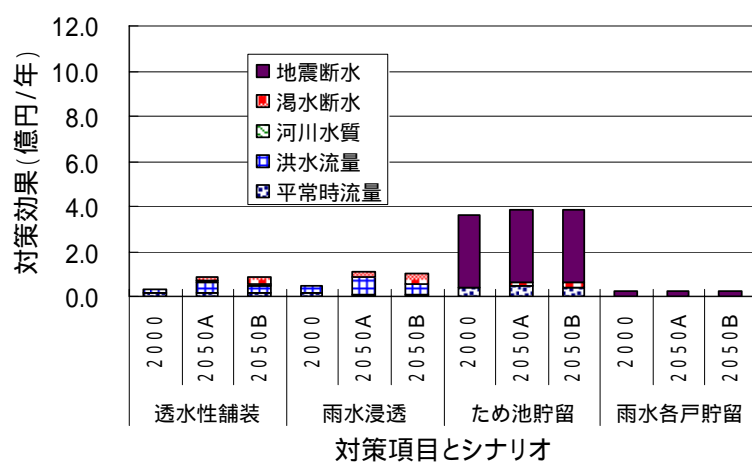


図7-2-2(3) 流域対策の効果(I流域ケース1 - 2)

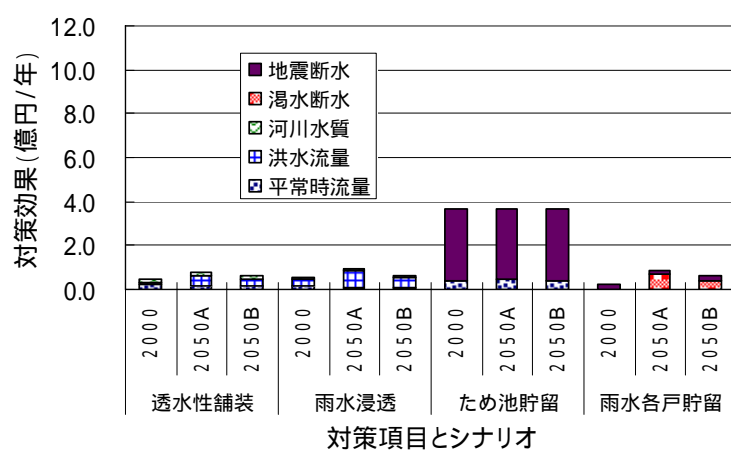


図7-2-2(4) 流域対策の効果(I流域ケース2)

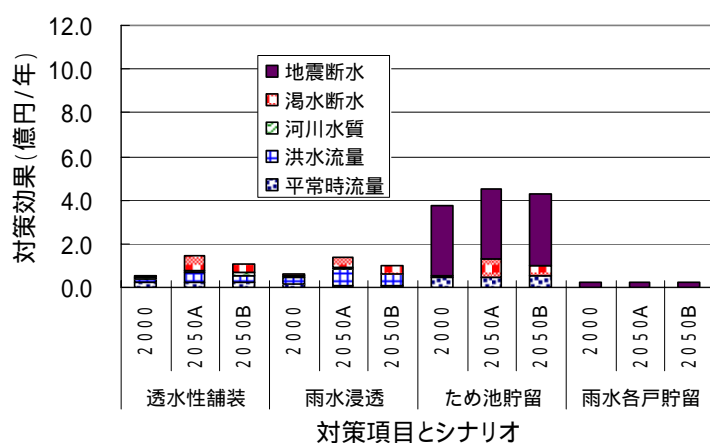


図7-2-2(5) 流域対策の効果(I流域ケース3)

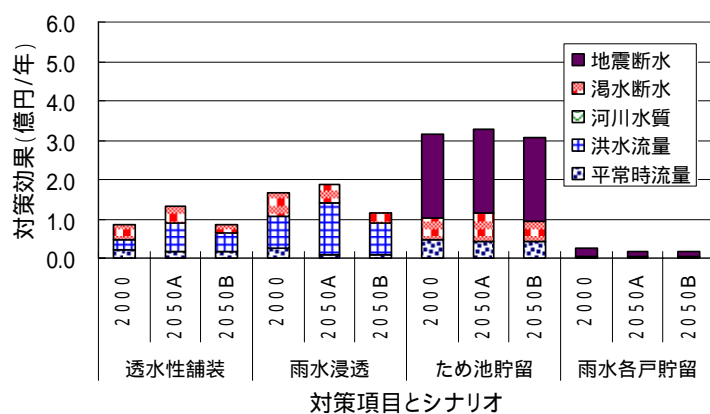


図7-2-2(6) 流域対策の効果(N流域ケース1)

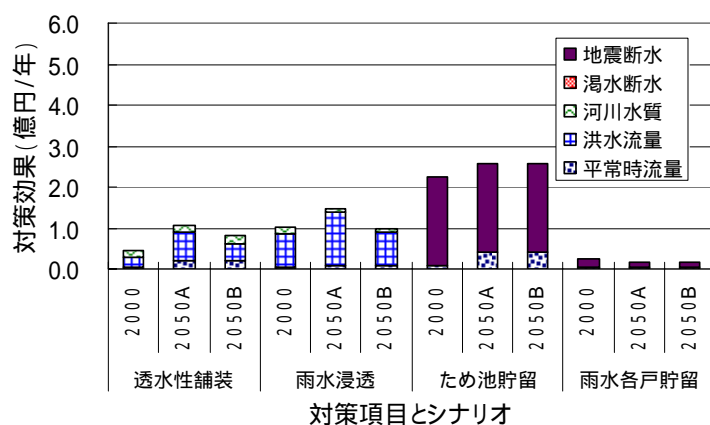


図7-2-2(7) 流域対策の効果(N流域ケース1 - 1)

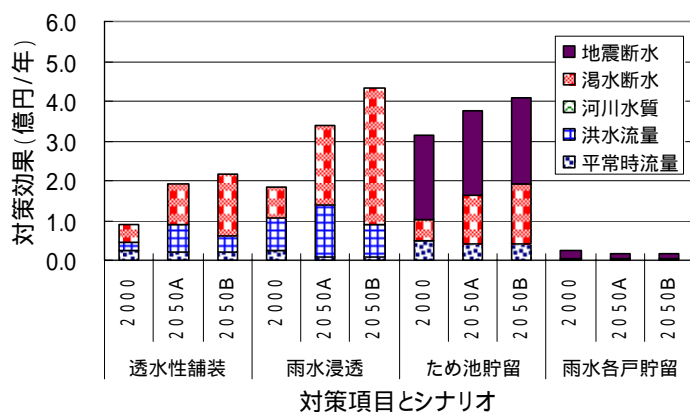


図7-2-2(8) 流域対策の効果(N流域ケース1 - 2)

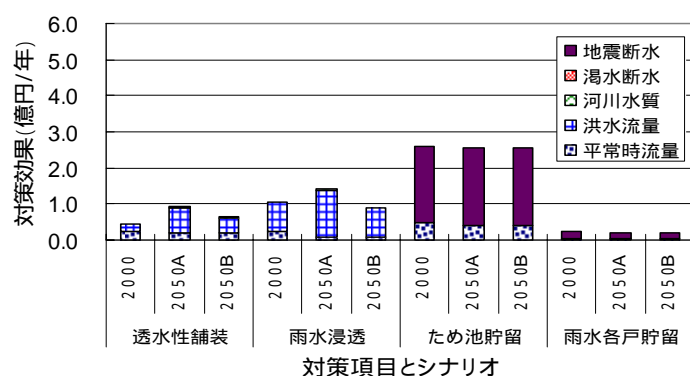


図7-2-2(9) 流域対策の効果(N流域ケース2)

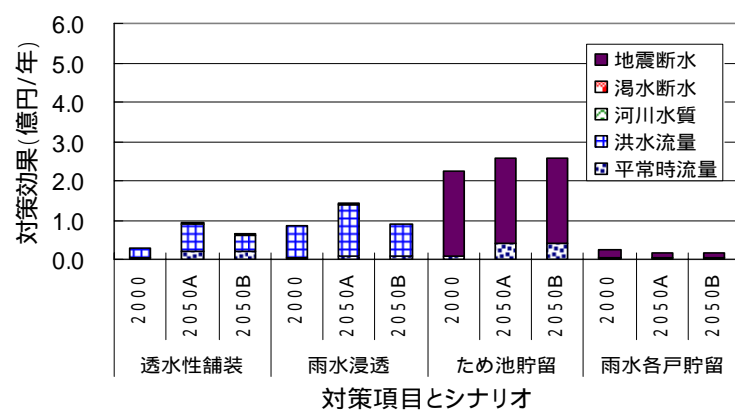


図7-2-2(10) 流域対策の効果(N流域ケース3)

#### (8) 流域対策の費用

流域対策のLCA原単位と地球環境を含む総合費用は表7-2-2(12)、(13)に示すとおりである。

表7-2-2(12) 流域対策のLCA原単位

原単位	浸透性舗装	雨水浸透トレンチ	ため池貯留	各戸貯留
CO <sub>2</sub> (t-C/百万円)	6.094	0.807	0.785	2.393
エネルギー (TOE/百万円)	2.824	1.174	0.808	3.28

表7-2-2(13) 流域対策の総合費用(2000、2050A,B) (単位:億円/年)

I 流域	2000	2050A,B	N 流域	2000	2050A,B
CO <sub>2</sub>	-0.42	-0.37	CO <sub>2</sub>	-0.38	-0.27
エネルギー	-0.80	-0.70	エネルギー	-0.75	-0.53
LCC	-3.28	-3.42	LCC	-1.80	-2.03
費用計	-4.50	-4.49	費用計	-2.93	-2.83

(9) 流域対策の費用対効果

費用対効果を一覧表にしたのが表7-2-2(14)～(19)である。

これによれば、流域対策は、I流域においては、現況のシステムの推移ケースであるケース1に対してより効果が大きく、特に将来(2050)においては、地球温暖化により甚大となる渇水被害に対して効果的な対策となった。また、いずれのケースでも、現状システムで下水処理水を還流するケース1-1に比して、自己水に100%依存するケース1-2に対する効果が大きい。

一方、N流域においては、自律分散型であるケース1-2に対して最も効果が大きく、将来(2050)においては渇水被害に対してより効果的となる。

以上のように流域対策は、今後の地球温暖化による渇水対策に特に有効であるが、流域状況や上下水道システムの差異によって流域対策の効果にも差異が生じる結果となった。

表7-2-2(14) I 流域での2000シナリオにおける流域対策効果・費用総括表(単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
平常時流量	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
河川水質	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1
洪水被害	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
渇水被害	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.3
非飲用	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
地震被害	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
効果計	5.0	7.2	4.7	4.8	4.8	5.2
費用計	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5
合計	0.5	<b>2.7</b>	0.2	0.3	0.3	0.7

表7-2-2(15) I 流域での2050Aシナリオにおける流域対策効果・費用総括表(単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
平常時流量	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8
河川水質	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2
洪水被害	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
渇水被害	0.5	<b>13.7</b>	0.0	0.6	0.0	1.9
非飲用	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
地震被害	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
効果計	6.2	19.4	5.5	6.1	5.6	7.6
費用計	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5
合計	1.7	<b>14.9</b>	1.0	1.6	1.1	3.1



表7-2-2(16) I 流域での2050Bシナリオにおける流域対策効果・費用総括表(単位:億円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時流量	0.7	0.9	0.6	0.6	0.7	0.9
河川水質	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
洪水被害	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
渇水被害	0.1	9.4	0.1	1.0	0.0	1.2
非飲用	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
地震被害	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
効果計	5.4	14.7	5.1	6.0	5.1	6.5
費用計	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5
合計	0.9	10.3	0.6	1.6	0.6	2.1

表7-2-2(17) N流域での2000シナリオにおける流域対策効果・費用総括表(単位:億円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時流量	1.0	1.0	0.2	1.0	1.0	0.2
河川水質	-0.1	-0.3	0.3	-0.2	-0.1	0.5
洪水被害	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
渇水被害	0.0	1.5	0.0	1.7	0.0	0.0
非飲用	0.3	0.2	0.1	0.5	0.0	0.0
地震被害	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
効果計	4.5	5.8	4.0	6.5	4.3	4.1
費用計	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9
合計	1.6	2.8	1.1	3.5	1.4	1.1

表7-2-2(18) N流域での2050Aシナリオにおける流域対策効果・費用総括表(単位:億円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時流量	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
河川水質	0.1	-0.2	0.2	-0.1	0.0	0.7
洪水被害	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
渇水被害	0.0	1.6	0.0	4.2	0.0	0.0
非飲用	0.2	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0
地震被害	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
効果計	5.3	6.6	5.3	9.6	5.1	5.7
費用計	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8
合計	2.5	3.8	2.5	6.8	2.2	2.9

表7-2-2(19) N流域での2050Bシナリオにおける流域対策効果・費用総括表(単位:億円/年)

ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時流量	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
河川水質	0.0	-0.1	0.3	-0.1	0.0	0.4
洪水被害	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
渇水被害	0.0	1.0	0.0	<b>6.5</b>	0.0	0.0
非飲用	0.2	0.1	0.1	0.5	0.0	0.0
地震被害	2.2	2.2	2.2	1.6	2.3	2.3
効果計	4.4	5.2	4.5	10.5	4.3	4.6
費用計	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8
合計	1.5	2.4	1.7	<b>7.7</b>	1.4	1.8

(10) 流域対策を含めた総合評価結果

Ⅰ 流域の総合評価結果

流域対策の効果を含んだI流域での総合評価結果(域水指数)を、表7-2-2(20)～(22)に、また、流域対策の実施前後の比較を表7-2-2(23)に示す。

これによれば、I流域では、流域対策による分野別指標の評価順位の1位は、水道指標が渇水に対する効果により現状(2000)シナリオでケース2から3に、2050Bシナリオでケース1-1から3へ変化し、総合評価では、現状(2000)についてはケース3に変化はないが、2050Aでケース1-1からケース1-2へ、2050Bでケース1-1からケース1-2、ケース3に変化した。

域水指数による流域対策の効果は、ケース1-1で0.2～1.0億円/年、ケース1-2で0.3～1.6億円/年、ケース3で0.7～3.1億円/年となっている。

しかしいずれの場合も小計(域水環境指数)がマイナスとなっており、7-1-3で設定した条件(1)('域水環境指数」をプラス)は満たしていない。また、条件(2)の地球環境指標の低減に関しても、最大の2050Bシナリオのケース1-2で-7.3億円/年となっており、2000シナリオの流域対策前の-7.6億円/年に対して削減率は4%にとどまり、条件(2)(地球環境指標20～40%削減)も満足していない。

表7-2-2(20) I 流域での2000シナリオにおける流域対策後の総合評価 (単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	13.2	13.0	16.2	14.2	<b>16.8</b>	16.2
水道指標	-9.3	-9.3	-9.8	-10.3	-9.0	<b>-8.8</b>
地球環境	-8.8	-10.5	-11.5	<b>-10.0</b>	-12.8	-11.3
小計(域水環境指数)	-4.8	-6.9	-5.1	-6.1	-5.0	<b>-3.9</b>
LCC-エネ	-31.3	-38.4	-39.4	<b>-38.2</b>	-40.1	-39.4
計(域水指数)	-36.1	-45.3	-44.5	-44.3	-45.1	<b>-43.3</b>

表7-2-2(21) I 流域での2050Aシナリオにおける流域対策後の総合評価(単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	9.1	8.6	11.4	9.6	<b>11.9</b>	11.0
水道指標	-7.4	-13.0	<b>-8.0</b>	-8.2	-20.1	-8.2
地球環境	-7.6	-9.0	-9.8	<b>-8.5</b>	-11.0	-9.7
小計(域水環境指数)	-5.9	-13.4	<b>-6.4</b>	-7.1	-19.1	-6.9
LCC-エネ	-28.8	-34.9	-35.8	<b>-34.7</b>	-36.5	-35.7
計(域水指数)	-34.7	-48.3	-42.3	<b>-41.8</b>	-55.6	-42.5

表7-2-2(22) I 流域での2050Bシナリオにおける流域対策後の総合評価(単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	12.2	12.3	14.3	13.0	<b>14.8</b>	14.2
水道指標	-7.4	-9.8	-7.8	-8.1	-18.2	<b>-7.7</b>
地球環境	-6.5	-7.7	-8.3	<b>-7.3</b>	-9.2	-8.2
小計(域水環境指数)	-1.7	-5.1	-1.8	-2.4	-12.6	-1.7
LCC-エネ	-26.7	-32.2	-33.0	<b>-32.1</b>	-33.5	-32.8
計(域水指数)	-28.5	-37.3	-34.8	<b>-34.5</b>	-46.1	<b>-34.5</b>

表7-2-2(23) I流域における流域対策前後の総合評価比較 (単位:億円/年)

シナリオ	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	対策前	-36.6	-47.9	-44.7	-44.5	-45.4	<b>-44.0</b>
	対策後	-36.1	-45.3	-44.5	-44.3	-45.1	<b>-43.3</b>
	効果	0.5	2.7	0.2	0.3	0.3	0.7
2050A	対策前	-36.4	-63.3	<b>-43.3</b>	-43.5	-56.7	-45.6
	対策後	-34.7	-48.3	-42.3	<b>-41.8</b>	-55.6	-42.5
	効果	1.7	14.9	1.0	1.6	1.1	3.1
2050B	対策前	-29.4	-47.6	<b>-35.4</b>	-36.1	-46.7	-36.6
	対策後	-28.5	-37.3	-34.8	<b>-34.5</b>	-46.1	<b>-34.5</b>
	効果	0.9	10.3	0.6	1.6	0.6	2.1

### N流域の総合評価結果

流域対策効果を含んだN流域での総合評価結果を、表7-2-2(24)～(26)に、また、流域対策の実施前後の比較を表7-2-2(27)に示す。

N流域では、流域対策による分野別の指標の評価順位の1位は、水道指標が現状(2000)シナリオと2050Bシナリオでは変わらないが、2050Aシナリオでケース1-1から1-2へ変化し、総合評価ではすべてのシナリオでケース1-1から1-2へ変化した。

流域対策の効果は、ケース1-1で1.1～2.5億円/年、ケース1-2で3.5～7.7億円/年、ケース3で1.1～2.9億円/年となった。しかしN流域においても、いずれの場合も7-1-3で設定した条件(1)は満たしていない。一方、地球環境指標に関しては、2000シナリオの流域対策前の-9.2億円/年に対して2050Bのケース1-2で-5.4億円/年と41%の削減率となっており条件(2)は満たしている。

表7-2-2(24) N流域での2000シナリオにおける流域対策後の総合評価 (単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	-8.5	-8.2	-5.5	-7.0	-7.1	<b>-5.4</b>
水道指標	-6.9	-6.7	-6.5	-9.5	<b>-6.3</b>	-6.3
地球環境	-10.3	-11.6	-12.0	<b>-9.0</b>	-12.3	-12.6
小計(域水環境指数)	-25.7	-26.5	<b>-23.9</b>	-25.5	-25.7	-24.2
LCC-エネ	-25.3	-30.1	-30.8	<b>-28.8</b>	-30.6	-31.1
計(域水指数)	-51.0	-56.6	-54.6	<b>-54.3</b>	-56.3	-55.3

表7-2-2(25) N流域での2050Aシナリオにおける流域対策後の総合評価(単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	-10.5	-10.7	-8.1	-9.8	-9.8	<b>-7.7</b>
水道指標	-6.4	-6.6	-6.3	<b>-6.0</b>	-14.8	-14.8
地球環境	-7.5	-8.4	-8.7	<b>-6.6</b>	-9.0	-9.2
小計(域水環境指数)	-24.4	-25.7	-23.1	<b>-22.4</b>	-33.6	-31.7
LCC-エネ	-20.2	-23.8	-24.4	<b>-22.9</b>	-24.2	-24.6
計(域水指数)	-44.6	-49.5	-47.5	<b>-45.3</b>	-57.8	-56.2

表7-2-2(26) N流域での2050Bシナリオにおける流域対策後の総合評価(単位:億円/年)

ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
河川流域指標	-8.7	-8.4	<b>-6.5</b>	-7.7	-7.7	-6.2
水道指標	-6.0	-6.0	<b>-5.8</b>	-6.6	-13.1	-13.1
地球環境	-6.2	-6.8	-7.0	<b>-5.4</b>	-7.2	-7.4
小計(域水環境指数)	-20.8	-21.1	<b>-19.3</b>	-19.7	-28.0	-26.7
LCC-エネ	-18.3	-21.4	-22.0	<b>-20.8</b>	-21.8	-22.3
計(域水指数)	-39.1	-42.5	-41.3	<b>-40.5</b>	-49.8	-49.0

表7-2-2(27) N流域における流域対策前後の総合評価比較 (単位:億円/年)

シナリオ	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	対策前	-52.6	-59.4	<b>-55.7</b>	-57.8	-57.7	-56.4
	対策後	-51.0	-56.6	-54.6	<b>-54.3</b>	-56.3	-55.3
	効果	1.6	2.8	1.1	3.5	1.4	1.1
2050A	対策前	-47.1	-53.3	<b>-49.9</b>	-52.1	-60.0	-59.1
	対策後	-44.6	-49.5	-47.5	<b>-45.3</b>	-57.8	-56.2
	効果	2.5	3.8	2.5	6.8	2.2	2.9
2050B	対策前	-40.6	-44.9	<b>-43.0</b>	-48.2	-51.2	-50.7
	対策後	-39.1	-42.5	-41.3	<b>-40.5</b>	-49.8	-49.0
	効果	1.5	2.4	1.7	7.7	1.4	1.8

#### 流域対策の総合評価

以上の検討結果から、次世代へ向けた新たな上下水道システムの構築に関して、流域対策の実施を前提に流域の水循環を含む視点で総合評価した場合には、自律分散型で地球環境にとっても望ましいシステムであるケース1-2の導入がより望ましいとの結果が得られた。これは、また、次世代へ向けた新たなシステムを構築していく上では、流域全体としての水循環システムを併せて変更していく必要があることを示唆するものと考えられる。

ただし、このような流域対策だけでは今後の地球温暖化等への対応には十分ではないとの結果となった。

### 7-2-3 膜処理施設導入の評価

わが国における安全な飲料水に対するニーズの高まりの中で、近年、水道水源は、微量有害化学物質やクリプトスポリジウムなど耐塩素性病原生物等による汚染の広がりが懸念されている。水道ビジョンに掲げられた安心・快適な給水を確保し、次世代へ向けての新たな上下水道を構築していくためには、水源での汚染防止対策とともに浄水処理の段階での汚染除去対策も不可欠である。また、わが国の今後の浄水施設の更新に際しては、建設や管理コスト縮減とともに新しい性能技術の導入が必要とされている。

こうした背景の中で最近注目を集めてきたのが膜分離法による浄水処理である。この膜処理技術は、1960 年代初頭に逆浸透法が開発されてから、海水淡水化や超純水製造などの用途に用いられてきた。1980 年代後半に欧米で膜による浄水処理が開始されて以来、膜分離法は、従来の用途を超えて浄水、下水、排水の処理を含め適用対象が大きく広がってきており、シンガポールではNEWaterという新しい下水処理水再生利用システムが本格的に稼働している。わが国でも、浄水の膜処理は小規模施設から順次導入が進められ平成 18 年度末時点で全国の膜ろ過施設は 586 件、施設能力は 75 万  $\text{m}^3/\text{日}$  に達している<sup>12)</sup>。これまで膜処理には施設の小型化・簡素化が可能で管理の省力化、信頼性向上、省資源化が図れるメリットがあるものの、スケールメリットが少なく事業費の縮減が図れないことや、従来型の沈殿ろ過水と比べると、濁度、大腸菌群、一般細菌の除去では優れているものの、色度やヒ素、マンガン、微量有機物除去といった機能に劣ることが導入に当たった課題として挙げられてきた。しかし、この事業費に関しては、ここ 10 年で 1/3 に低減しており、水処理機能上の問題も、最近では、活性炭処理等との組み合わせ<sup>13)</sup>や NF 膜の導入により解決されつつある。小型で非常に機械的に制御しやすく、省力化可能な膜処理の導入は、持続可能なシステムとして自律分散型上下水道システムを構築する上でも、今後益々重要性を増すものと考えられる。

こうした視点から、ここでは自己水の浄水処理に膜処理を導入する効果について検討した。

#### (1) 膜処理による浄水処理性

膜処理による有機物等の処理性の向上については、1991 年から「膜利用型高度浄水システム開発研究 (MAC21 計画)」として研究が進められてきており、最近の淀川表流水を原水とした、浸漬型膜ろ過槽内に粒状生物活性炭を循環させる実験では 1) 低水温期においてもアンモニア、THM 前駆物質等の有機物、鉄、マンガンなど多くの水質項目に関して、安定した浄水処理性能が得られること、2) 運転制御が容易であること、3) 膜の健全性など装置の信頼性が高いことなどが確認されており、有機物の処理性も高度処理に近いものとなっている<sup>14)</sup>。また、NF 膜の導入実験では、高度処理を超える有機物の除去率も報告されている<sup>15), 16)</sup>。こうしたことから、今後の技術進歩も踏まえて膜処理による有機物等の残存量は沈殿ろ過による通常処理の 1/2 に低減するものとした。

膜処理によるクリプトスポリジウムの除去率は、ほぼ 100% であり、また、オゾン処理を用いないことから、膜施設導入により、クリプトスポリジウムと臭素酸リスク (指標値) は 0 になるとしたとした。

#### (2) 建設・維持管理費用

e-Water ガイドライン集<sup>17)</sup>において、既存膜ろ過設備 (機械電気) は 20 万円/ $\text{m}^3$  程度であるが、水質が比較的悪い表流水を対象とした供給水においても新技術の導入で約 1/2 ~ 1/5 とされており、膜ろ過設備単価が表 7-2-3(1) のように試算されている。これらの試算値を参考に、今後 50 年間に大きな価格低減があるものとして、表 7-2-3(2) に示すように試算値の最小ケースを M1、平均ケースを M2 とした。

表 7-2-3(1) 膜ろ過設備の単価試算値

建設費 万円/(m <sup>3</sup> /日)				維持管理費 円/m <sup>3</sup>			
総建設費	最小	最大	平均	動力費	最小	最大	平均
5 万 m <sup>3</sup> /日	5.40	9.20	7.30	5 万 m <sup>3</sup> /日	0.61	1.50	1.06
10 万 m <sup>3</sup> /日	4.90	8.40	6.65	10 万 m <sup>3</sup> /日	0.61	1.50	1.06
20 万 m <sup>3</sup> /日	4.80	8.40	6.60	20 万 m <sup>3</sup> /日	0.61	1.50	1.06
平均	<b>5.03</b>	8.67	<b>6.85</b>	平均	<b>0.61</b>	1.50	<b>1.06</b>
設備費	最小	最大	平均	薬品費	最小	最大	平均
5 万 m <sup>3</sup> /日	4.80	8.40	6.60	5 万 m <sup>3</sup> /日	0.02	1.10	0.56
10 万 m <sup>3</sup> /日	4.40	7.90	6.15	10 万 m <sup>3</sup> /日	0.02	1.10	0.56
20 万 m <sup>3</sup> /日	4.20	7.90	6.05	20 万 m <sup>3</sup> /日	0.02	1.10	0.56
平均	<b>4.47</b>	8.07	<b>6.27</b>	平均	<b>0.02</b>	1.10	<b>0.56</b>
建設費	最小	最大	平均	薬品洗浄費	最小	最大	平均
5 万 m <sup>3</sup> /日	0.60	0.80	0.70	5 万 m <sup>3</sup> /日	0.11	0.44	0.28
10 万 m <sup>3</sup> /日	0.50	0.50	0.50	10 万 m <sup>3</sup> /日	0.09	0.44	0.27
20 万 m <sup>3</sup> /日	0.60	0.50	0.55	20 万 m <sup>3</sup> /日	0.09	0.46	0.28
平均	<b>0.57</b>	0.60	<b>0.58</b>	平均	<b>0.10</b>	0.45	<b>0.27</b>
設備単位面積	最小	最大	平均	膜交換費	最小	最大	平均
5 万 m <sup>3</sup> /日	0.021	0.036	0.0285	5 万 m <sup>3</sup> /日	0.73	6.07	3.40
10 万 m <sup>3</sup> /日	0.017	0.029	0.023	10 万 m <sup>3</sup> /日	0.72	6.07	3.40
20 万 m <sup>3</sup> /日	0.014	0.025	0.0195	20 万 m <sup>3</sup> /日	0.72	6.07	3.40
平均	0.017	0.030	0.024	平均	<b>0.72</b>	6.07	<b>3.40</b>

表 7-2-3(2) 膜処理の検討ケース

		ケース M1	ケース M2	
総建設費	総建設費	5	7	万円/(m <sup>3</sup> /日)
	建設費	0.5	0.7	
	設備費	4.5	6.3	
維持管理費	動力費	0.04	0.07	kwh/m <sup>3</sup>
	薬品費	0.0004	0.012	kg/m <sup>3</sup>
	薬品洗浄費	0.1	0.27	円/m <sup>3</sup>
	膜交換費	0.7	3.4	円/m <sup>3</sup>

動力費:15 円/kwh、薬品費:45 円/kg として費用から計算

### (3)膜処理 LCA と LCC

膜処理の LCA, LCC の算定には、通常の浄水場の LCA と同様の原単位と耐用年数をもちいる。  
下表は通常処理と膜処理の算定の処理フローを示す。

表 7-2-3(3) 通常処理と膜処理のフロー

通常処理	建設:	取水施設(土木・設備) + 沈殿ろ過施設(土木・施設) + 配水池 + 配水管
	運用:	電力(配水・浄水) + 次亜塩(浄水) + PAC(浄水) + 苛性ソーダ(浄水)
膜処理	建設:	取水施設(土木・設備) + 膜ろ過施設(土木・施設) + 配水池 + 配水管
	運用:	電力(配水・浄水) + 次亜塩(浄水) + 薬品洗浄(浄水) + 膜交換(浄水)

通常処理の LCA・LCC で用いた運用にかかる電力には、配水に加え浄水処理にかかるものも含まれるものから、膜処理の電力費は、通常処理と膜処理の動力費との差を通常処理の電力費に加算した。また、通常処理(沈殿・ろ過)にかかる電力費については、全国の浄水場のアンケートで得られた電力原単位<sup>18)</sup>より 0.04kwh/m<sup>3</sup>とした。

### (4)通常処理と膜処理の比較

#### 膜処理の効果

I 及び N 流域の各シナリオで通常処理と膜処理が非飲用費用指標に与える影響を比較したのが図 7-2-3(1) ~ (6)である。これらによれば通常処理に比して、非飲用指標が I 流域では、ケース 1 - 1 が 2.1 億円/年(2000)から 1.7 億円/年(2050B)低減するのに対して、ケース 1 - 2 では 3.3 億円/年から 2.6 億円減少した。また N 流域でもケース 1 - 1 で 1.2 億円/年から 0.6 億円/年低減するのに対してケース 1 - 2 では 4.1 億円/年から 2.8 億円/年減少し、I 及び N 流域のいずれのシナリオでも自律分散型であるケース 1 - 2 での効果がもっとも大きいという結果になった。

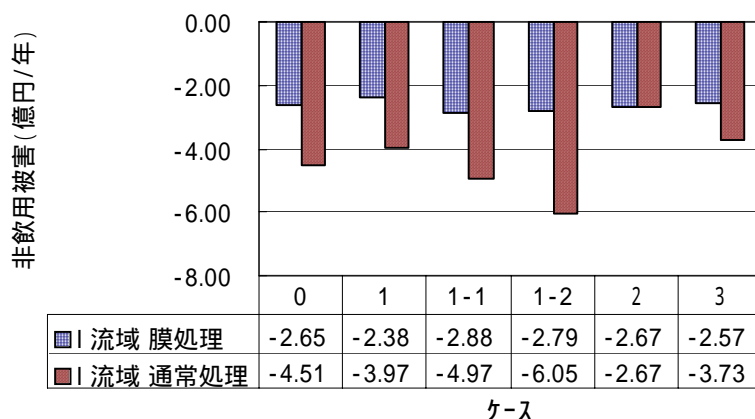


図 7-2-3(1) I 流域における 2000 シナリオでの通常処理と膜処理の効果比較



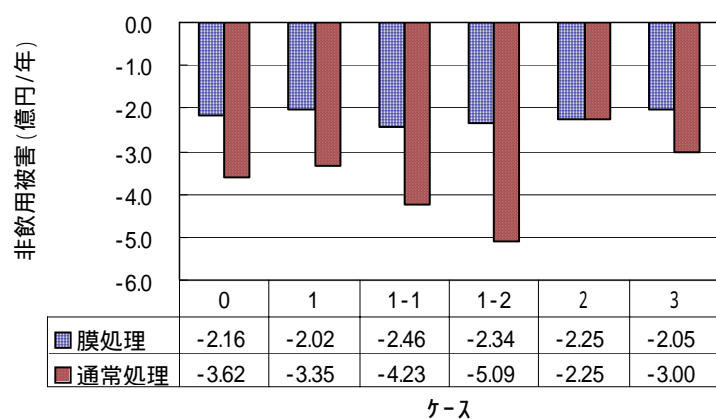


図 7-2-3(2) I 流域における2050Aシナリオでの通常処理と膜処理の効果比較

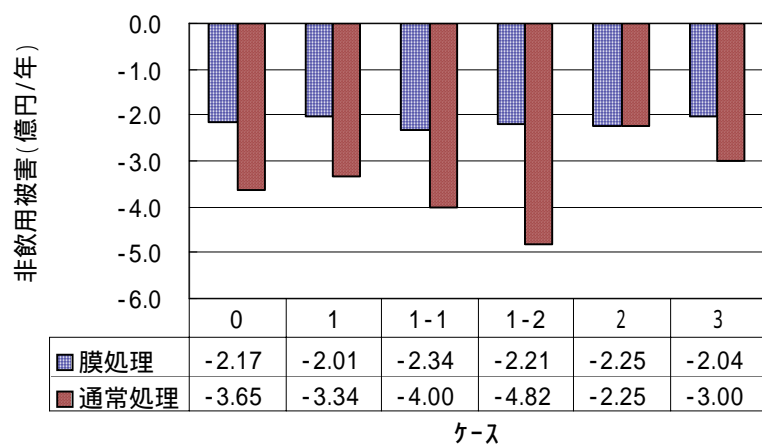


図 7-2-3(3) I 流域における2050Bシナリオでの通常処理と膜処理の効果比較

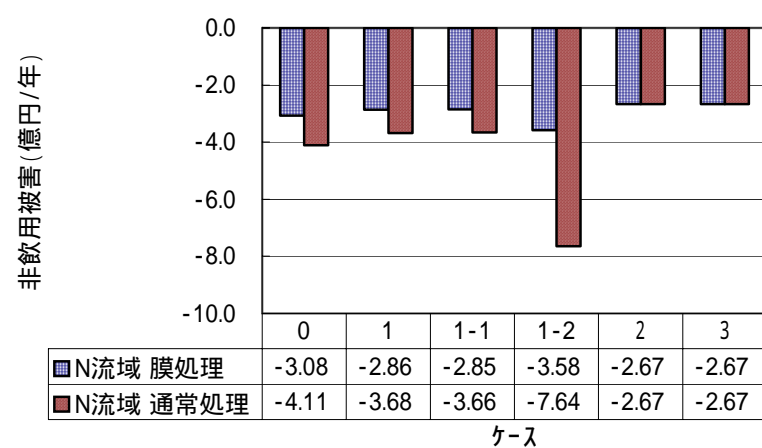


図 7-2-3(4) N 流域における2000シナリオでの通常処理と膜処理の効果比較

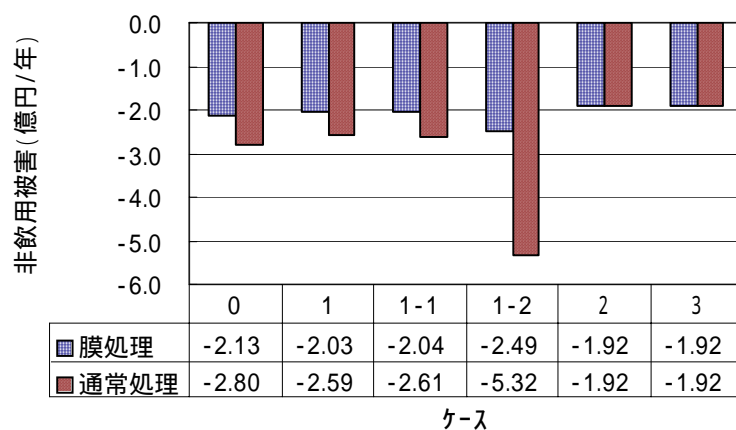


図 7-2-3(5) N 域における2050Aシナリオでの通常処理と膜処理の効果比較

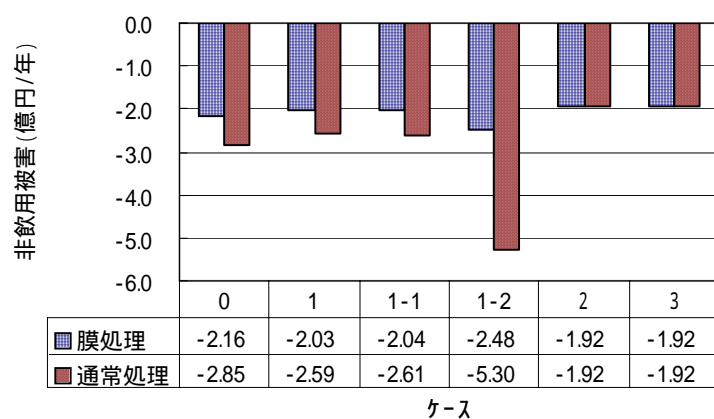


図 7-2-3(6) N 流域における2050Bシナリオでの通常処理と膜処理の効果比較

#### 地球環境と LCC 指標への影響

膜処理(M1,M2)導入後と導入前(通常処理)の地球環境(LCA)指標と LCC 指標の合計値(総合費用)を表7-2-3(4)、(5)に示す。これらによれば総合費用は最低価格を用いたM1シナリオによる膜処理では、沈澱ろ過の通常処理とほぼ同程度であるが、平均値を用いた M2 シナリオでは、通常処理より大幅に増加する結果となった。

表 7-2-3(4) I 流域での膜処理にかかる地球環境と LCC 指標の合計値 (単位: 億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	通常処理	-24.5	-24.5	-24.5	-21.7	-28.4	-26.2
	膜処理 (M1)	-24.5	-24.5	-24.5	-21.9	-28.4	-26.2
	膜処理 (M2)	-27.3	-27.3	-27.3	-26.5	-28.4	-27.5
2050A	通常処理	-22.1	-22.1	-22.1	-19.7	-25.6	-23.5
	膜処理 (M1)	-22.1	-22.1	-22.1	-19.8	-25.6	-23.5
	膜処理 (M2)	-24.4	-24.4	-24.4	-23.7	-25.6	-25.3
2050B	通常処理	-19.9	-19.9	-19.9	-18.0	-22.7	-21.0
	膜処理 (M1)	-19.9	-19.9	-19.9	-18.1	-22.7	-21.0
	膜処理 (M2)	-21.6	-21.6	-21.6	-21.0	-22.7	-22.3

表 7-2-3(5) N 流域での膜処理にかかる地球環境と LCC 指標の合計値 (単位: 億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	通常処理	-20.2	-20.2	-20.2	-14.7	-21.6	-21.6
	膜処理 (M1)	-20.3	-20.3	-20.3	-15.0	-21.6	-21.6
	膜処理 (M2)	-21.2	-21.2	-21.2	-19.6	-21.6	-21.6
2050A	通常処理	-15.4	-15.4	-15.4	-11.3	-16.4	-16.4
	膜処理 (M1)	-15.4	-15.4	-15.4	-11.4	-16.4	-16.4
	膜処理 (M2)	-16.0	-16.0	-16.0	-14.7	-16.4	-16.4
2050B	通常処理	-13.0	-13.0	-13.0	-9.8	-13.8	-13.8
	膜処理 (M1)	-13.0	-13.0	-13.0	-9.9	-13.8	-13.8
	膜処理 (M2)	-13.5	-13.5	-13.5	-12.4	-13.8	-13.8

#### 膜処理導入の総合的な費用対効果

膜処理導入による効果に総合費用(地球環境(LCA)指標と LCC 指標の合計値)の影響を考慮した総合的な費用対効果を表 7-2-3(6)～(9)に示す。これらによれば、通常処理(沈澱ろ過)に比して総合的な費用対効果(非飲用 + LCA + LCC)は、膜処理 M1(最低価格)の場合、I 流域で +0.9 ～ +3.0 億円/年、N 流域では +0.6 ～ +3.8 億円/年と算出され、大きな効果が期待できる。一方、膜処理 M2(平均価格)では I 流域で -1.6 ～ -0.1 億円/年、N 流域では -0.8 ～ 0 億円/年とむしろ総合費用が上回り、膜処理の導入に当たっては、今後の技術向上等により M1 レベルまでの費用低減を図ることが前提となる。また、膜処理導入による総合的な費用対効果は、特に自律分散型のケース 1-2 で効果が大いという結果が得られた。

表 7-2-3(6) I 流域の総合的な費用対効果での膜処理(M1)と通常処理の比較 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	膜導入効果	1.9	1.6	2.1	3.3	0.0	1.2
	総合費用	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0
	計	1.8	1.5	2.0	3.0	0.0	1.2
2050A	膜導入効果	1.5	1.3	1.8	2.7	0.0	1.0
	総合費用	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0
	計	1.4	1.3	1.8	2.6	0.0	0.9
2050B	膜導入効果	1.5	1.3	1.7	2.6	0.0	1.0
	総合費用	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
	計	1.5	1.3	1.7	2.5	0.0	0.9

表 7-2-3(7) N 流域の総合的な費用対効果での膜処理(M1)と通常処理の比較 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	膜導入効果	1.0	0.8	0.8	4.1	0.0	0.0
	総合費用	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0
	計	1.0	0.8	0.8	3.8	0.0	0.0
2050A	膜導入効果	0.7	0.6	0.6	2.8	0.0	0.0
	総合費用	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0
	計	0.7	0.6	0.6	2.7	0.0	0.0
2050B	膜導入効果	0.7	0.6	0.6	2.8	0.0	0.0
	総合費用	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
	計	0.7	0.6	0.6	2.8	0.0	0.0

表 7-2-3(8) I 流域の総合的な費用対効果での膜処理(M2)と通常処理の比較 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	膜導入効果	1.9	1.6	2.1	3.3	0.0	1.2
	総合費用	-2.8	-2.8	-2.8	-4.8	0.0	-1.3
	計	-0.9	-1.2	-0.7	-1.6	0.0	-0.1
2050A	膜導入効果	1.5	1.3	1.8	2.7	0.0	1.0
	総合費用	-2.3	-2.3	-2.3	-4.1	0.0	-1.8
	計	-0.8	-1.0	-0.5	-1.3	0.0	-0.8
2050B	膜導入効果	1.5	1.3	1.7	2.6	0.0	1.0
	総合費用	-1.7	-1.7	-1.7	-3.0	0.0	-1.3
	計	-0.2	-0.4	0.0	-0.4	0.0	-0.4

表 7-2-3(9) N 流域の総合的な費用対効果での膜処理(M2)と通常処理の比較 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1-1	1-2	2	3
2000	膜導入効果	1.0	0.8	0.8	4.1	0.0	0.0
	総合費用	-0.9	-0.9	-0.9	-4.9	0.0	0.0
	計	0.1	-0.1	-0.1	-0.8	0.0	0.0
2050A	膜導入効果	0.7	0.6	0.6	2.8	0.0	0.0
	総合費用	-0.7	-0.7	-0.7	-3.4	0.0	0.0
	計	0.0	-0.1	-0.1	-0.6	0.0	0.0
2050B	膜導入効果	0.7	0.6	0.6	2.8	0.0	0.0
	総合費用	-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	0.0	0.0
	計	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0

#### 7-2-4 配水管路の高機能化(耐震化及び耐用年数延長)の評価

わが国の水道施設は、昭和50年前後をピークとして整備されてきており、現在の水道施設の資産は平成17年度末で約40兆円以上に達すると推計される。このうち64%が送水配水施設であり、この資産を持続可能な施設として有効かつ適切に活用し、将来世代に引き継いでいかなければならない。

水道管路を用いて飲料に適する水を供給する現在の水道の形態は、世代や世紀を越えてもその基本は変わらないとされているが、わが国の管路の更新率は、現在年間1%程度で、管路の耐震化率も20%にとどまっており、次世代へ向けて水道システムを検討する上で管路の高機能化(耐震化と耐用年数延長)の評価は重要な位置を占めると考えられる。

##### (1) 水道管路耐震化の検討

水道管路の管種別構成については、第5章表5-2-2(2)、(3)で示した通り、ダクタイルから石綿管まで種々の管種からなっているが、ここでは管路の耐震化は、すべての管がダクタイル鋳鉄の耐震化継ぎ手管に置き換えるものとして指標に与える効果を検討した。表7-2-4(1)に示す配管内訳に基づき、第5章5-2-2、第5章5-2-3と同じ手法で、耐震化後の平常時事故被害指標と地震断水被害指標を算定した。結果を表7-2-4(2)、(3)に示す。なお、耐震化後は、地震時の断水件数は0となり、地震事故断水指標についてはすべて0となる。

第5章の図5-2-2(2)、(3)に示す耐震前の断水被害指標と耐震化後の指標値の差を表7-2-4(4)～(7)に示す。耐震化の効果はI流域で6～7億円/年、N流域で2～4億円/年であり、ケース1-2は用水供給管路が存在しない分だけ被害軽減効果も少なく出ている。

表 7-2-4(1) I、N流域における水道管路の耐震化後の管路構成(単位:km)

	I 流域		N 流域	
管径(mm)	2000	2050B	2000	2050B
50～100	706	709	359	290
150～250	446	388	198	160
300～500	102	97	53	43
600～700	7	2	1	1
800～900	1	1	0	0
1000 以上	0	0	0	0
合計	1263	1196	611	493

管種:ダクタイル鋳鉄管(耐震継ぎ手)

表 7-2-4(2) I 流域における耐震化後の平常時事故被害指標 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
2000	自己水	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	用水供給	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	-0.5	-0.3
2050B	自己水	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	用水供給	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	-0.4	-0.2

表 7-2-4(3) N 流域における耐震化後の平常時事故被害指標 (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
2000	自己水	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
	用水供給	-0.4	-0.4	-0.4	0.0	-0.5	-0.5
2050B	自己水	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
	用水供給	-0.3	-0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.4

表 7-2-4(4) I 流域における耐震化が断水被害に与える効果(2000) (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時事故断水	自己水	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	用水供給	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
地震断水	自己水	5.1	5.1	5.1	5.4	4.8	5.0
	用水供給	0.5	0.5	0.5	0.0	1.4	0.8
計		7.2	7.2	7.2	6.9	7.7	7.4

表 7-2-4(5) I 流域における耐震化が断水被害に与える効果(2050B) (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時事故断水	自己水	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	用水供給	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
地震断水	自己水	4.4	4.4	4.4	4.5	4.3	4.4
	用水供給	0.5	0.5	0.5	0.0	1.2	0.7
計		6.3	6.3	6.3	6.0	6.9	6.5

表 7-2-4(6) N 流域における耐震化の効果(2000) (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時事故断水	自己水	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	用水供給	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
地震断水	自己水	2.3	2.3	2.3	2.7	2.2	2.2
	用水供給	1.1	1.1	1.1	0.0	1.4	1.4
計		4.1	4.1	4.1	3.5	4.3	4.3

表 7-2-4(7) N 流域における耐震化の効果(2050B) (単位:億円/年)

	ケース	0	1	1 - 1	1 - 2	2	3
平常時事故断水	自己水	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	用水供給	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
地震断水	自己水	1.4	1.4	1.4	1.6	1.4	1.4
	用水供給	0.8	0.8	0.8	0.0	1.0	1.0
計		2.8	2.8	2.8	2.2	3.0	3.0

## (2) 管路耐震化の費用比較

耐震化を進めるために必要な費用の比較にあたって、一般管としてダクタイルK形管と、高機能管としてダクタイルNS形管とした。

表7-2-4(8)はK形管、NS形管の布設費を比較したものである<sup>19)</sup>。呼び径250mm以下については、布設費合計で1%程度の差であり、400mmで10%の差となっている。今回の検討流域では、管径が250mm以下の管路が90%以上を占めていることから、布設費用の差はないものとした。

## (3) 耐用年数延長の効果検討

今回検討した水道システムを対象としたLCCのうち配水管の占める割合は、図7-2-4(1)のとおり70～90%である。検討対象

とした石川・西除川流域の水道管路の年間更新率は1%程度であり、全ての管路の更新期間に100年を要することになり、現在40年とされる耐用年数の管路では、着実に老朽化が進行して地震時や平常時の断水事故等がさらに増加することが懸念される。これは次世代へ向けての水道システムの構築にとって大きな課題である。

表 7-2-4 (8) NS 形と K 形の管敷設費の比較

呼び径mm	項目	K 形	NS 形
150	材料費	100	117.7
	継手、土木工事費	100	97.3
	諸経費	100	100.6
	合計	100	101
250	材料費	100	116.1
	継手、土木工事費	100	96.5
	諸経費	100	100.8
	合計	100	101.3
400	材料費	100	140.7
	継手、土木工事費	100	96.8
	諸経費	100	108.7
	合計	100	110.2

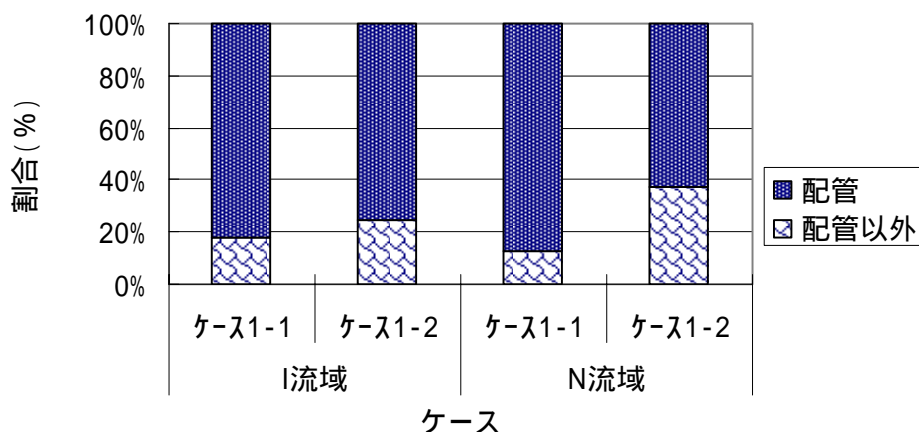


図 7-2-4(1) 上水道の LCC に占める管路の割合

これまでの検討では、管路の耐用年数を法定耐用年数40年としLCA,LCC計算を行ったが、文献によれば、これまでの使用実績から高級铸铁管等の耐用年数は、40～50年であるが、ダクタイル铸铁管では70年程度とされている。ここではより耐久性のある高機能な管路を採用することによる耐用年数延長の効果を検討した。



#### (4) 耐用年数延長効果の検討結果

ここでは7-2-2および7-2-3で検討を加えた流域対策と膜処理が実施されたことを前提に指標値を算定した。I,N流域で現況(2000)と2050Bシナリオで水道管路の耐用年数を60年、80年に延長した場合の総合費用の検討結果を図7-2-4(2)～(5)に示す。これによれば、現況(2000)シナリオの耐用年数60年では、I流域で20%、N流域で15%、耐用年数80年では、それぞれ30%、20%指標値は向上した。また、2050Bシナリオの場合耐用年数60年ではI流域で23%、N流域では17%、耐用年数80年でそれぞれ37%、27%指標値は向上した。

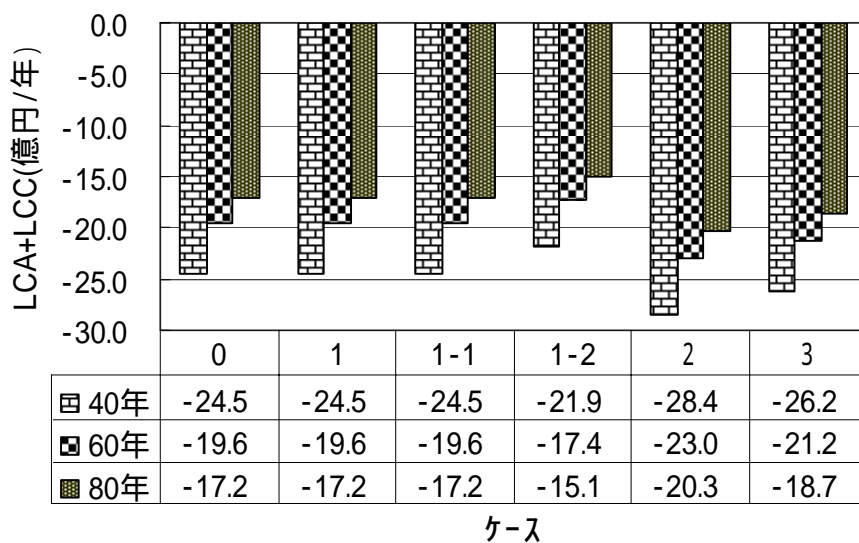


図7-2-4(2) I流域での2000シナリオにおける浄水管路耐用年数と総合費用

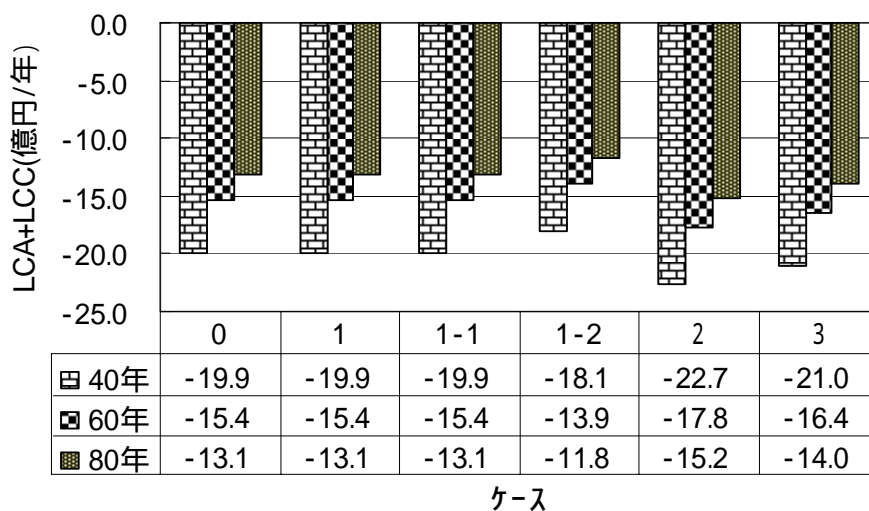


図7-2-4(3) I流域での2050Bシナリオにおける浄水管路耐用年数と総合費用

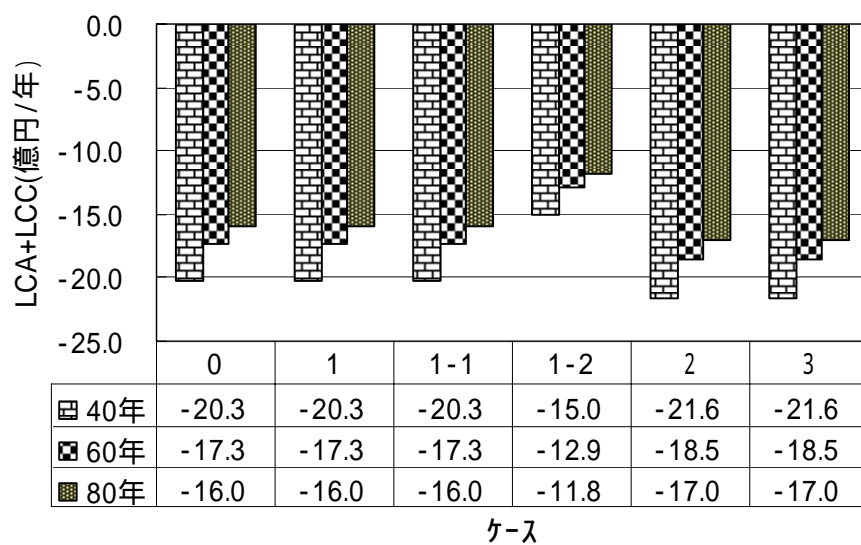


図 7-2-4(4) N 流域での 2000 シナリオにおける浄水管路耐用年数と総合費用

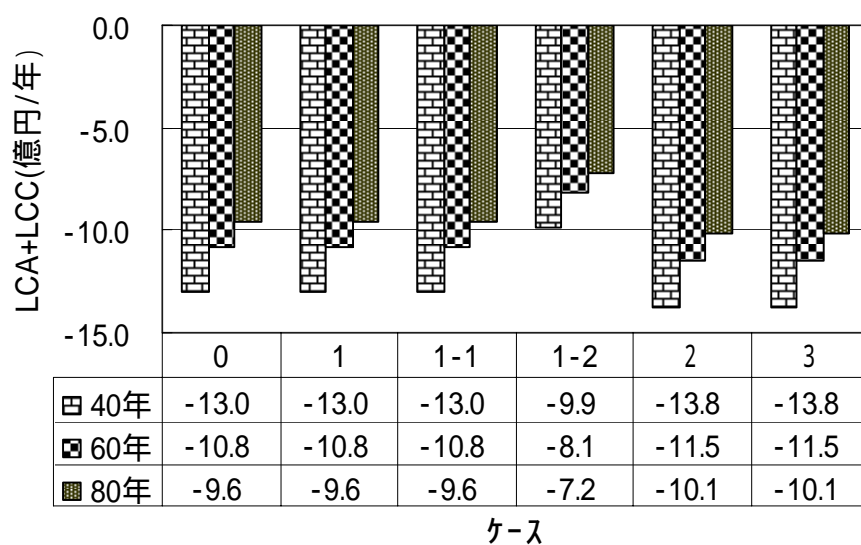


図 7-2-4(5) N 流域での 2050 B シナリオにおける浄水管路耐用年数と総合費用

### 7-2-5 2元給水導入の評価

これまで水源水質に関して、農薬や化学薬品等による汚染が問題とされ、排水規制やPRTR法等での排出量把握とともに、下水処理や浄水処理で高度処理の普及が進められたことにより一定の削減効果を挙げてきたが、微量有害化学物質や耐塩素性病原生物によるヒトへの健康影響のほか、人間が使用し下水に排出される医薬品が公共水域へ流出することによる水生生物を中心とした生態系への影響が懸念されており、健全な水循環と上下水道システム構築へ向けての課題の一つとなってきた。今後の対策として、下水処理の更なる高度化も選択肢となるが、人や生態系への影響が未知の物質や現在の分析技術では検出できない物質の存在の可能性を加味すると、生活排水を都市内で循環利用し公共水域への排水を極力減少させる施策も必要と考えられる。

丹保<sup>20)</sup>や中西<sup>21)</sup>は、水道水を飲み水用の清浄な水とトイレ等の雑用水を分離して給水すべきだとしており、流域内の降雨が元となる水源から供給される浄水を飲用等に使用する上水として、また下水処理水をトイレ等の雑用水に利用する中水として2元給水する方策は、生活排水系から流出する医薬品などが生態系へ及ぼす影響を低減するという視点からも有効な手段と考えられる。給水の2元化については、これまでは管路を新たに整備する費用の増加が問題とされ実現には至っておらず、また下水処理水の中水利用についても、福岡や東京都と一部実施されているものの維持管理を含めたコスト的な面で普及が滞っているのが現状である。しかし2元給水は、浄水処理量の減少による環境負荷や運用費用の削減などが期待でき、次世代へ向けての上下水道システム構築にとっても望ましい方策と考えられる。

本研究のこれまでの検討では、下水処理水の利用は、一旦処理水を河川に放流し河川から浄水として取水するという、非意図的な下水処理水の飲用として現在一般化しているパターンとし、今後、温暖化等の影響による河川流量の低下と水道の渇水被害の増大への対応として、この下水処理水の河川への還流が有効との結果を得てきた。2元給水化は、河川からの取水量を減少させ渇水被害を低減するとともに、水道の安全性の向上も期待できることから、この点からも今回の総合評価指標を向上させる可能性がある。

こうした視点から今回、自然河川を水源とする上水は主に飲用に使用し、下水処理水はトイレや洗濯に利用する中水として分離供給する2元給水システムの持続可能性について、「域水指数」を用いて評価を試みることにした。

#### (1) 検討ケース

これまでの検討を踏まえ、I、N流域を対象に、シナリオは2000(現況)(給水量:0.4m<sup>3</sup>/人/日)と、2050B(給水量:0.3m<sup>3</sup>/人/日)とする。上水と中水との給水量の割り振りは、表7-2-5(1)に示す水道事業体の水道水使用内訳より、表7-2-5(2)のように風呂、炊事、洗濯用水を上水として供給するケースを(2元)a、最小限の炊事と洗面用水のみ供給するケースを(2元)bとし、検討ケースは、上水を用水供給から供給を受けるケースをそれぞれ(2元)1a、1bとし、上水を自己水源のみで対応するケースを(2元)2a、2bとした。表7-2-5(3)、(4)にI、N流域における2元給水の検討ケース別の給水量内訳を示す。

なお、ケース1-1、ケース1-2は、これまで検討してきた1元給水のケースであり、2元給水と比較するために表示した。また、これらの検討も流域対策の実施、自己水には膜処理の導入、管路の耐用年数は60年を前提に行った。

表 7-2-5(1) 水道水の使用内訳

(単位:L/日)

	大阪府 (H14)	大阪府 (飽和値)	草津市	芦屋市 (H16)	芦屋市 (H37)
洗濯	38	26	56	64	49
風呂	107	106	84	100	115
炊事	40	32	47	29	26
水洗便所	46	44	46	31	22
洗面	19	19	10	23	20
その他	14	23	15	25	30
計	264	250	258	272	262
a 上水(風呂・炊事・洗面)	166	157	141	152	161
b 上水(炊事・洗面)	59	51	57	52	46

表 7-2-5(2) 2元給水の給水量内訳

(単位:m³/人/日)

ケース	上水利用	シナリオ	給水量	上水	中水
(2元) a	炊事・飲用、洗面 風呂	2000	0.4	0.2	0.2
		2050B	0.3	0.15	0.15
(2元) b	炊事・飲用、洗面	2000	0.4	0.05	0.35
		2050B	0.3	0.0375	0.2625

表 7-2-5(3) 現況(2000)シナリオにおける2元給水の検討ケース別給水内訳 (単位:万 m³/日)

ケース	上水				中水		河川還流水	
	用水供給		自己水(河川水)		下水処理水		下水処理水	
	I 流域	N 流域	I 流域	N 流域	I 流域	N 流域	I 流域	N 流域
(2元) 1a	5.0	5.0			5.0	5.0	5.0	5.0
(2元) 1b	1.25	1.25			8.75	8.75	1.25	1.25
(2元) 2a			5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
(2元) 2b			1.25	1.25	8.75	8.75	1.25	1.25
1 - 1	4.0	8.0	6.0	2.0			10.0	6.0
1 - 2	0	0	10.0	10.0			10.0	10.0

表 7-2-5(4) 将来(2050B)シナリオにおける2元給水検討ケース別給水内訳 (単位:万 m<sup>3</sup>/日)

ケース	上水				中水		河川還流水	
	用水供給		自己水(河川水)		下水処理水		下水処理水	
	I流域	N流域	I流域	N流域	I流域	N流域	I流域	N流域
(2元)1a	3.2	2.7			3.2	2.7	3.2	2.7
(2元)1b	0.8	0.675			5.5	4.725	0.8	0.675
(2元)2a			3.2	2.7	3.2	2.7	3.2	2.7
(2元)2b			0.8	0.675	5.5	4.725	0.8	0.675
1-1	2.5	4.3	3.8	1.1			6.3	3.24
1-2	0	0	6.3	5.4			6.3	5.4

## (2) 断水被害の原単位

これまで湯水や地震等による断水被害は一律33000円/人/日としてきたが、2元給水として異なる水源から上水、中水を分離供給することから、表 7-2-5(5)に示すとおりケース(2元)aでは上水3000円/人/日、中水30000円/人/日、(2元)bでは上水2000円/人/日、中水31000円/人/日とした。

表 7-2-5 (5) 2元給水の水使用用途別の断水被害額 (単位:円/人/日)

		上中水計	上水(2元)a	中水(2元)a	上水(2元)b	中水(2元)b
生活用		7000	3000	4000	2000	5000
	炊事	2000	2000		2000	
	洗濯	2000		2000		2000
	風呂	1000	1000			1000
	トイレ	2000		2000		2000
業務営業		19000		19000		19000
工業		7000		7000		7000
合計		33000	3000	30000	2000	31000

## (3) 2元給水管路

これまでの検討では、管路の管径構成は、水道統計の府内市町村分を基に、1万m<sup>3</sup>以下、1～3万m<sup>3</sup>と3～5万m<sup>3</sup>、5～10万m<sup>3</sup>、10～30万m<sup>3</sup>と5段階で管径別の平均延長比を求めI、N流域の管路構成を設定したが、2元給水では各分割流域の給水量はほとんどが1万m<sup>3</sup>以下となること、また管路が総合費用の評価に大きな影響を与えることから、新たに給水量3万m<sup>3</sup>以下の水道事業体を対象として給水規模と管径別延長割合の関係を求めた(図 7-2-5(1))。

表 7-2-5(6)に給水量の管径割合の関係式、表 7-2-5(7)～(10)に関係式より求めたI、N流域の配水管の管径別内訳を示す。

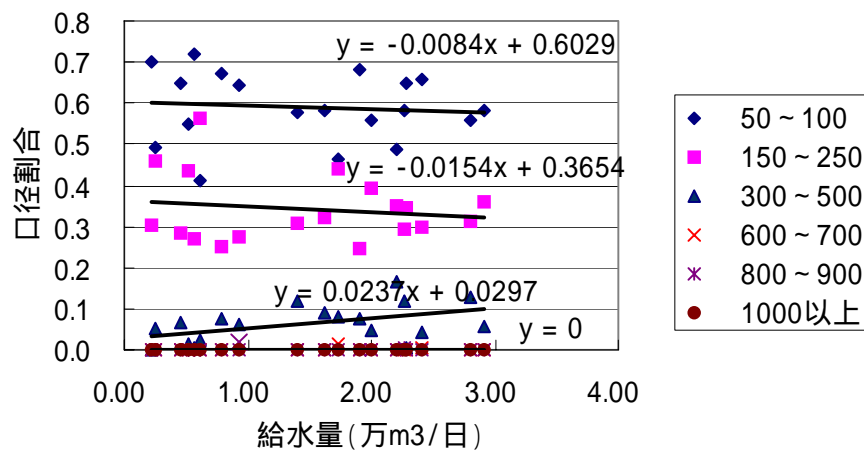


図 7-2-5(1) 水道事業体の浄水給水量と管路の口径別延長割合

表 7-2-5(6) 給水量に対する管径割合の関係式

管径	y:管径別延長割合、x:給水量(万m <sup>3</sup> /日)
50～100	$y = -0.0084x + 0.6029$
150～250	$y = -0.0154x + 0.3654$
300～500	$y = 0.0237x + 0.0297$
600以上	$y = 0$

表 7-2-5(7) 現況(2000)シナリオにおける I 流域の配水管の管径別内訳(単位:km)

I 流域 管径(mm)	(2元)a		(2元)b	
	上水管	中水管	上水管	中水管
50～100	746	746	757	735
150～250	434	434	454	413
300～500	78	78	46	110
600以上	0	0	0	0
合計	1263	1263	1263	1263

表 7-2-5(8) 将来(2050B)シナリオにおける I 流域の配水管の管径別内訳(単位: km)

I 流域	(2元)a		(2元)b	
管径(mm)	上水管	中水管	上水管	中水管
50 ~ 100	712	712	719	705
150 ~ 250	420	420	433	407
300 ~ 500	60	60	40	79
600 以上	0	0	0	0
合計	1196	1196	1196	1196

表 7-2-5(9) 現況(2000)シナリオにおける N 流域の配水管の管径別内訳(単位: km)

N 流域	(2元)a		(2元)b	
管径(mm)	上水管	中水管	上水管	中水管
50 ~ 100	362	362	367	357
150 ~ 250	211	211	220	202
300 ~ 500	35	35	22	49
600 以上	0	0	0	0
合計	611	611	611	611

表 7-2-5(10) 将来(2050B)シナリオにおける N 流域の配水管の管径別内訳(単位: km)

N 流域	(2元)a		(2元)b	
管径(mm)	上水管	中水管	上水管	中水管
50 ~ 100	295	295	297	292
150 ~ 250	175	175	179	171
300 ~ 500	22	22	16	28
600 以上	0	0	0	0
合計	493	493	493	493

#### (4) 地球環境と LCC 指標

これまでと同様の費用関数、原単位、耐用年数を用い2元給水をベースとした上中下水道システムを対象に計算を行った。自己水の浄水処理は膜処理とし、用水供給と下水処理はこれまでと同じ高度処理とした。また、中水については、下水の高度処理水をそのまま利用することとした。下水処理水の還流はケース1-2で設定した同じ地点まで送水し、そこから各家庭等へポンプ送水することとした。また管路の耐用年数は60年とし、自己水の浄水処理は膜処理(M1)とした。

計算結果を図 7-2-5(2) ~ (5)に示す。これによれば、2000、2050Bとも、I 流域では、配水区域が広く管路延長が長くなるため2元給水によりエネルギー、CO<sub>2</sub>、LCC とも指標値が悪化するという結果となった。

これに対して、人口密度が高く配管延長が短いⅠ流域では、従来の1元給水と2元給水とは、これらの指標に大きな差が出ない結果となった。

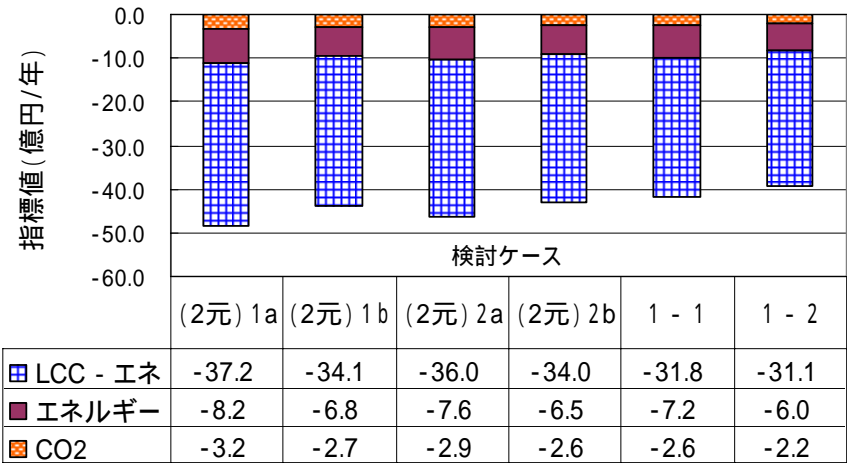


図 7-2-5(2) 現況 (2000) シナリオにおけるⅠ流域の2元給水ケース別 LCA・LCC 指標

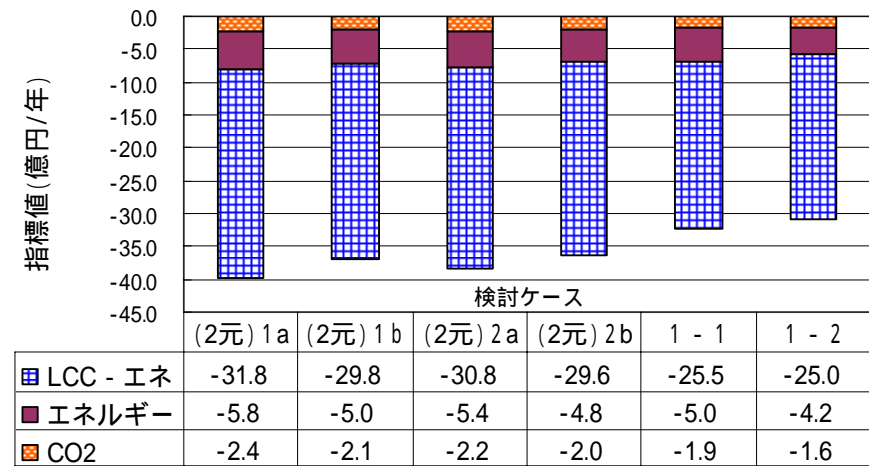


図 7-2-5(3) 将来 (2050B) シナリオにおけるⅠ流域 2元給水のケース別 LCA・LCC 指標



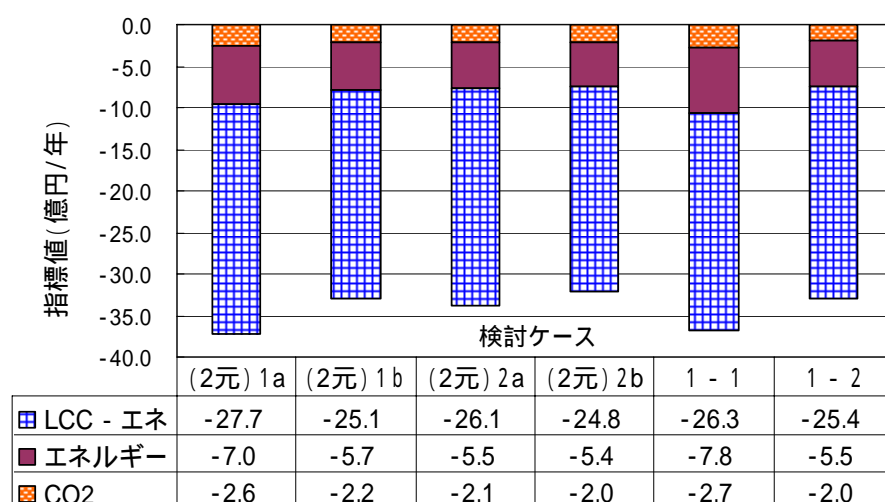


図 7-2-5(4) 現況 (2000) シナリオにおける N 流域の 2 元給水ケース別 LCA・LCC 指標

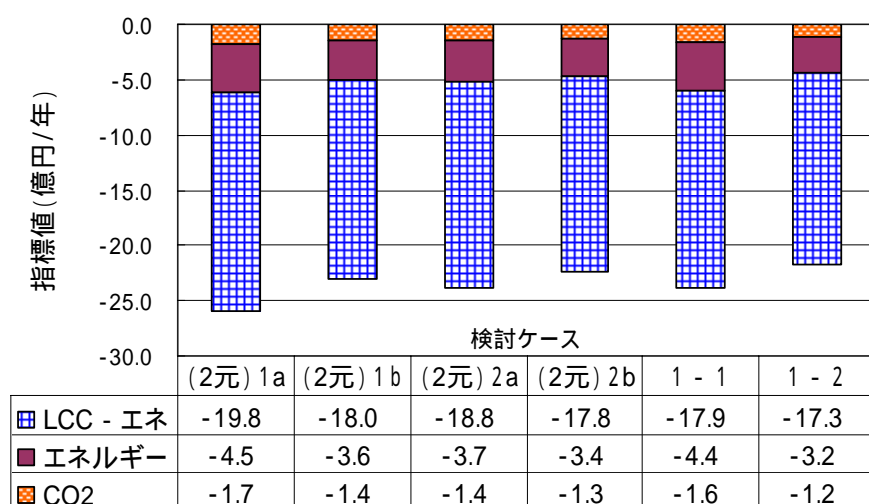


図 7-2-5(5) 将来 (2050B) シナリオにおける N 流域の 2 元給水ケース別 LCA・LCC 指標

#### (5) 水道指標

2元給水では、河川からの取水を減じることや配水管の構成が上水中水管路に 2 元化されることから、渇水断水被害指標や給水管路の地震や平常時事故断水被害指標に影響を与えることになる。

##### 渇水断水被害指標

2元給水では一人当たりの断水被害額、平常時の平均給水量が異なるため、第3章の手法に基づき、新たに表 7-2-5(11)のとおりに被害関数(式 3-2-1(8),(9))の各定数値(a,b)を設定した。

ここで、(2元)at、btは2元給水のそれぞれの給水原単位(qo)に対する上水分を表す。中水は、下水処理水を活用するため渇水被害は無いものとした。2元給水により、河川からの取水を上水に限定することから、浄水水源としての河川から必要とされる取水の量が減少することになる。

表 7-2-5(11) 渇水被害関数の各定数値

ケース	qo(m <sup>3</sup> /人/日)	a	b
2000	0.4	734665	22.26
2050B	0.3	1014768	30.75
2000(2元) at	0.2	104315	34.75
2050B(2元) at	0.15	145899	48.57
2000(2元) bt	0.05	322923.	161.6
2050B(2元) bt	0.0375	448055	224.2

表 7-2-5(12) 各河川別の取水制限開始流量

Q<sub>N(365)</sub>(単位: m<sup>3</sup>/s)

ケース	淀川	石川	西除川
2000	77.8	1.31	0.88
2050B	64.2	1.12	0.67
2000at	68.5	0.93	0.64
2050Bat	59.9	0.68	0.36
2000bt	64.3	0.42	0.21
2050Bbt	55.6	0.36	0.12

以上の条件を基に2元給水の各ケースについて計算した結果を図 7-2-5(6)～(9)に示す。これらによれば、現状(2000)シナリオでは、I、N流域とも渇水被害は大きなものではないが、温暖化等により河川流量が減少する2050Bシナリオについては、I流域において水源を淀川に頼るケース2元 1a,1b が従来の1元給水のケース1-1と1-2に比して、被害度は大きな値となる。これに対して、N流域では多くのケースで

2元給水は現状シナリオに比べて被害度は増加するものの、淀川を水源とする用水供給への依存度が高い1元給水のケース1-1と比較して被害度は低減している(図 7-2-5(9)参照)。

以上より渇水への対応としての2元給水は、N流域の将来シナリオ(2050B)に対して効果が期待できる。

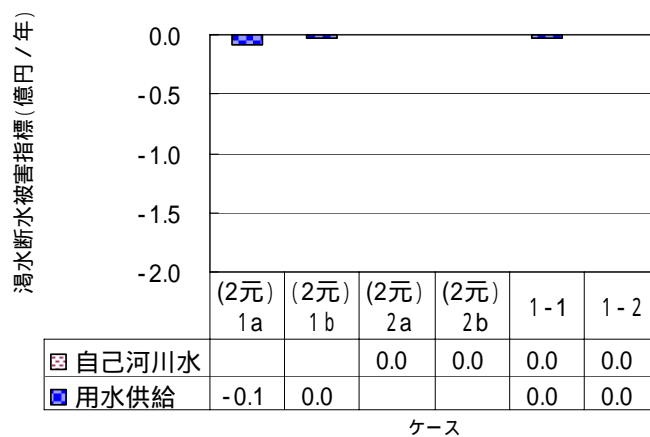


図 7-2-5(6) 現況(2000)シナリオにおける I流域の2元給水渇水被害

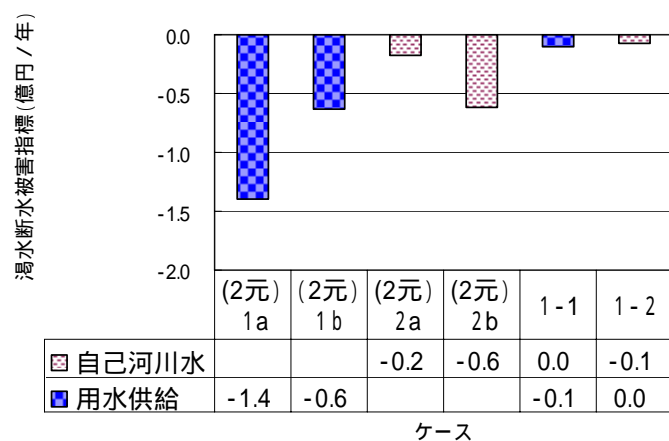


図 7-2-5(7) 将来(2050B)シナリオにおける I流域の 2 元給水渇水被害

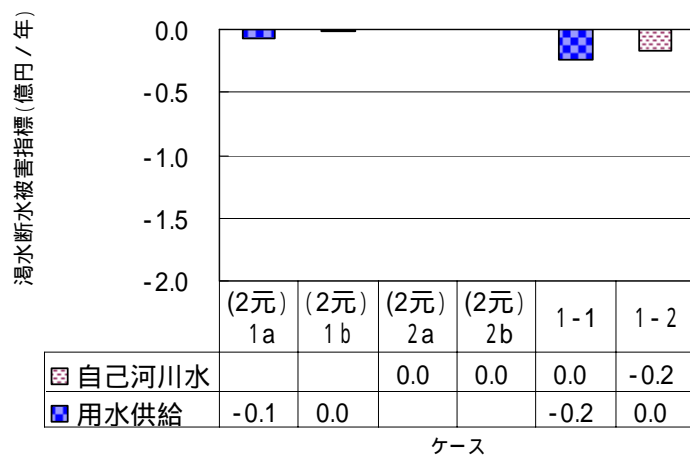


図 7-2-5(8) 現況(2000)シナリオにおける N流域の 2 元給水渇水被害

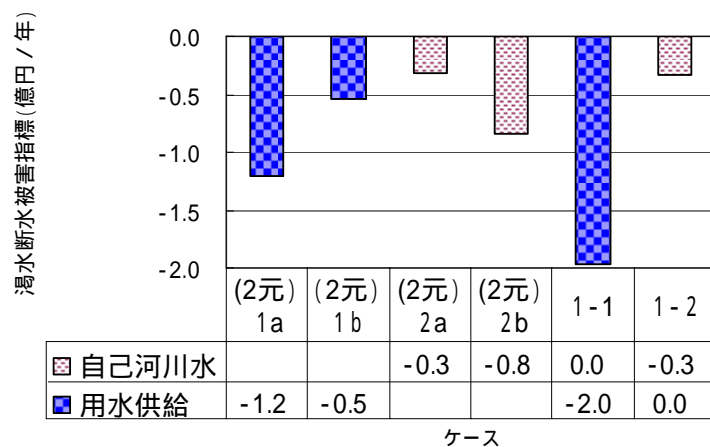


図 7-2-5(9) 将来(2050B)シナリオにおける N流域の 2 元給水渇水被害

## 地震、平常時事故断水指標

第3章に示した手法により平常時事故断水被害を算定した。

浄水の管路の管径別延長内訳は表 7-2-5(7)、(10)に示した数値を用いた。

管路はすべて耐震化されものとして、管種はダクタイル耐震管、耐用年数は60年になるとした。したがって3章 表 4-1-3(1)より地震断水被害は0となる。また、一人当たりの給水原単位は変化するが、管径別の給水人口は変わらないものとした。事故件数当たりの断水割合や管径、管種別被害率も変化しないものとした。以上の条件のもとで計算した平常時事故被害指標を、図 7-2-5(10)～(13)に示す。

これによれば、2000、2050Bシナリオとも2元給水は、1元給水に比して平常時事故断水被害は減少することになる。これは、給水管が細分化されるため、管路事故発生一件当たりの断水影響が少ないことによる。

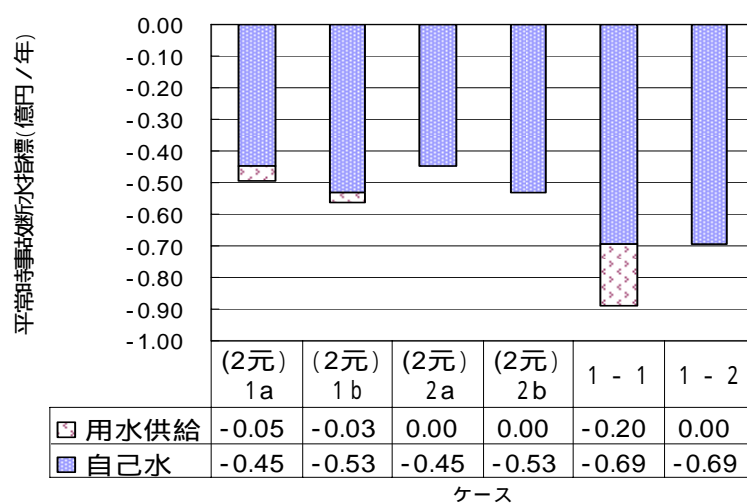


図 7-2-5(10) 現況(2000)シナリオにおけるⅠ流域の2元給水ケース別平常時事故断水被害指標

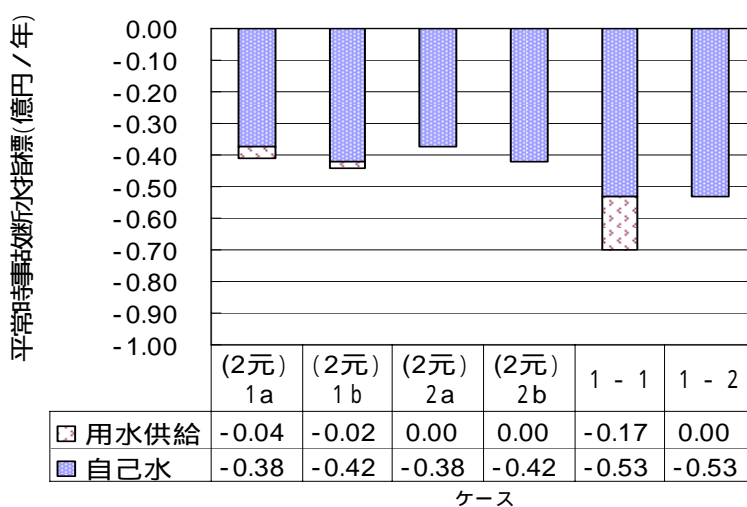


図 7-2-5(11) 将来(2050B)シナリオにおけるⅠ流域の2元給水ケース別平常時事故断水被害指標

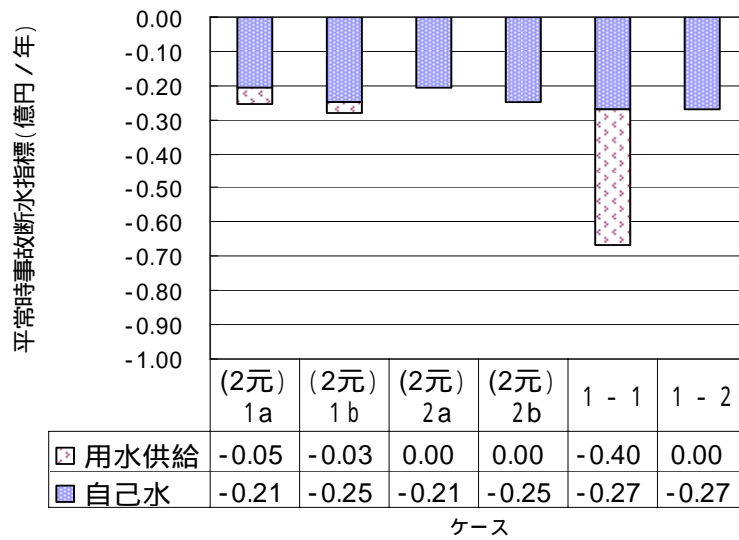


図 7-2-5(12) 現況(2000)シナリオにおけるN流域の2元給水ケース別平常時事故断水指標

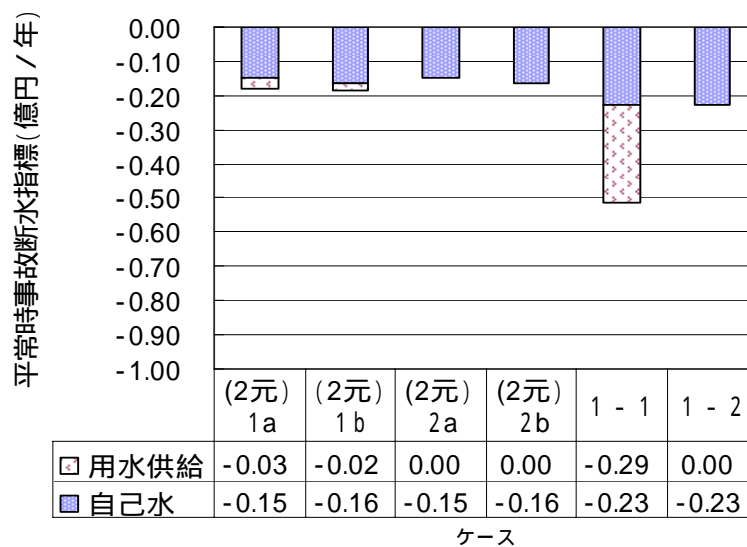


図 7-2-5(13) 将来(2050B)シナリオにおけるN流域の2元給水ケース別平常時事故断水指標

#### (6) 河川・流域指標

表 7-2-5(3)、(4)で示した2元給水の各ケース毎の河川からの取水と下水処理水還流量を、1元給水のケース1 - 2と同じ条件で各分割流域別に振り分け、平常時流量と河川水質を計算し、流量・水質指標を求めた。その結果を図 7-2-5(14)～(17)に示す。

その結果、N流域では2元給水化の効果は現れないが、I流域では流量指標と水質指標の合計値は

若干改善する結果となった。これは、2元給水により下水処理水を直接中水として利用するため、I流域では河川水より水質が悪い下水処理水の河川への放流が減少し、河川水質が改善するためと考えられる。流量についてはI、N流域とも、水源を他流域に頼るケース1a、1bでは下水の処理水の河川への還流分だけ流量が増加する。2a、2bでは河川から取水する量だけ下水放流することから変化はない。

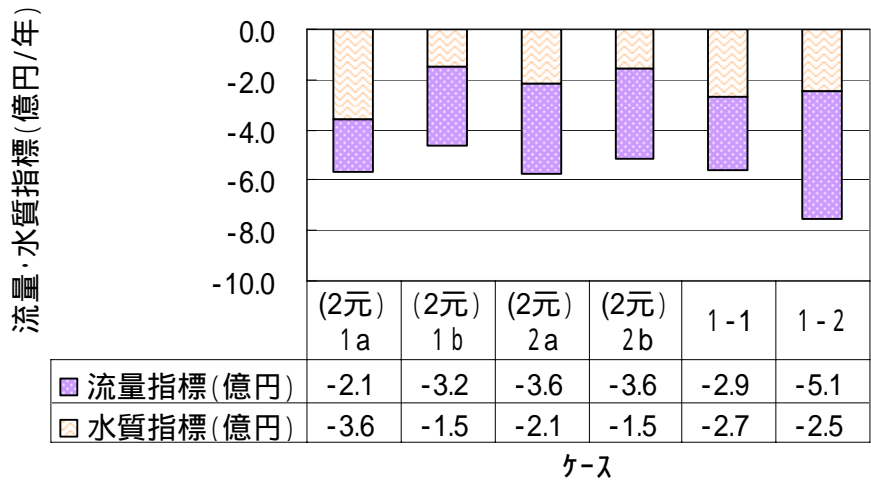


図 7-2-5(14) I 流域における 2000 シナリオでの 2元給水による流量・水質指標

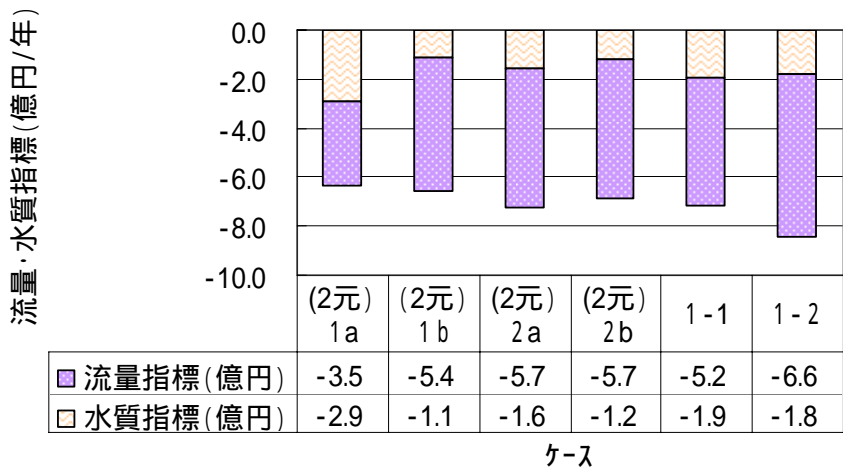


図 7-2-5(15) I 流域における 2050B シナリオでの 2元給水による流量・水質指標

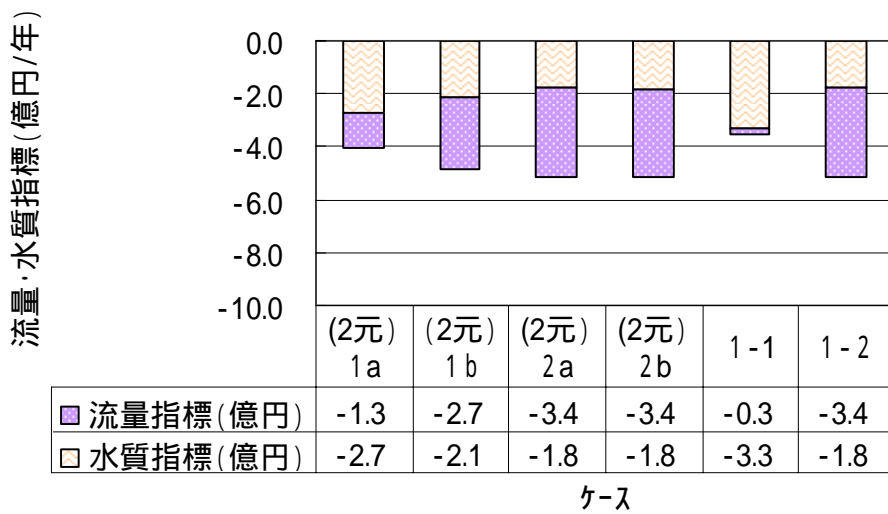


図 7-2-5(16) N 流域における 2000 シナリオでの 2 元給水による流量・水質指標

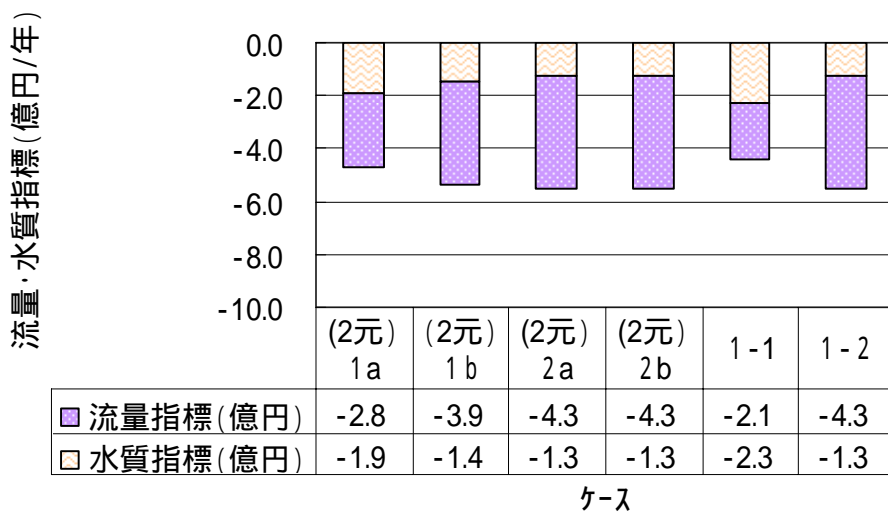


図 7-2-5(17) N 流域における 2050B シナリオでの 2 元給水による流量・水質指標

#### (7) 2 元給水の総合評価

以上の各指標を集計した総合評価指標(域水指数)を表 7-2-5(13)～(16)に示す。  
これによれば、人口密度が低く給水エリアが広範囲に広がっている I 流域では、配水管の 2 重化により LCC が増加し、2 元給水はどのケースも不利との結果となった。

一方、給水エリアが集中している N 流域においては、2 重配管が LCC に及ぼす影響が少ないため、現状シナリオ(2000)では、2 元給水の 2 元 1b が従来の一元給水より有利になるという結果が得られた。

また将来シナリオについては、わずかにケース1 - 2が有利であるが、2元 1b とほぼ同様な評価値となり、2元給水の評価には給水密度が大きく影響することが示された。

また、2元給水の各ケースを水源別給水内訳に基づいて比較すると、いずれのシナリオにおいても上水として用水供給から最小限の1人1日50L～40Lを確保し、その他は、中水として下水処理水を利用するケース 1b が有利となった。

表 7-2-5(13) I 流域での 2000 シナリオにおける 2 元給水の総合評価 (単位: 億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	16.2	14.2	16.1	<u>17.1</u>	16.1	15.7
水道指標	-3.8	-3.5	<b>-3.3</b>	<b>-3.3</b>	-4.0	-4.1
地球環境	-11.0	<u>-9.5</u>	-12.6	-10.8	-11.7	-10.3
小計(域水環境指数)	1.4	1.3	0.2	<u>3.1</u>	0.3	1.3
LCC-エネ	-35.1	<u>-34.4</u>	-40.5	-37.4	-39.3	-37.3
計(域水指数)	-33.7	<u>-33.1</u>	-40.2	-34.3	-39.0	-36.0

表 7-2-5(14) I 流域での 2050 B シナリオにおける 2 元給水の総合評価 (単位: 億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	14.3	13.0	<u>15.1</u>	14.9	14.2	14.0
水道指標	-3.2	<u>-2.8</u>	-3.7	-2.5	-3.0	-2.9
地球環境	-7.9	<u>-6.9</u>	-9.2	-8.2	-8.7	-7.9
小計(域水環境指数)	3.3	3.3	2.1	<u>4.1</u>	2.4	3.2
LCC-エネ	-28.9	<u>-28.4</u>	-35.2	-33.2	-34.2	-33.0
計(域水指数)	-25.6	<u>-25.1</u>	-33.1	-29.1	-31.8	-29.8

表 7-2-5(15) N 流域での 2000 シナリオにおける 2 元給水の総合評価 (単位: 億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	<u>-5.5</u>	-7.0	-6.0	-6.7	-7.1	-7.0
水道指標	-3.8	-4.0	<u>-3.0</u>	<u>-3.0</u>	-3.8	-3.9
地球環境	-11.7	<u>-8.6</u>	-10.7	-9.0	-8.8	-8.5
小計(域水環境指数)	-20.9	-19.7	-19.7	<u>-18.8</u>	-19.6	-19.4
LCC-エネ	-28.1	-27.2	-29.5	-26.9	-27.9	<u>-26.6</u>
計(域水指数)	-49.1	-46.9	-49.1	<u>-45.7</u>	-47.5	-46.1



表 7-2-5(16) N 流域での 2050B シナリオにおける 2 元給水の総合評価 (単位: 億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	<u>-6.5</u>	-7.7	-6.9	-7.5	-7.7	-7.7
水道指標	-4.5	-3.1	-3.3	<u>-2.2</u>	-3.0	-2.9
地球環境	-6.8	<u>-5.2</u>	-7.0	-5.8	-5.9	-5.5
小計(域水環境指数)	-17.9	-15.9	-17.2	<u>-15.4</u>	-16.6	-16.0
LCC-エネ	-19.9	<u>-19.4</u>	-21.8	-20.0	-20.8	<u>-19.8</u>
計(域水指数)	-37.8	<u>-35.3</u>	-39.0	-35.5	-37.4	-35.8

(8) 流域対策を含む上下水道システムに関する新たな方策の総合評価

これまで検討した流域対策や膜処理の導入、管路の耐用年数の延長、さらに 2 元給水化により 7-1-3 (1) の条件(「域水環境指数」がプラス)は I 流域ではみたすことになったが(表 7-2-5(13)、7-2-5(14) 小計欄参照)、N 流域ではなお満たしていない(表 7-2-5(15)、7-2-5(16)小計欄参照)。

また、地球環境指標を 20 ~ 40 % 削減する 7-1-3 の(2)の目標についても I 流域では 10 % 程度の効果に止まっている。

これらは上下水道システムの対策だけで設定目標を達成するには限界があり、都市のコンパクト化や土地利用誘導などの流域の土地利用面からの新たな方策の必要性を示すものである。

### 7-2-6 都市のコンパクト化の評価

わが国においては、21世紀中に人口は半減するといわれており、現在の都市を半分の人口で継続維持しようとするれば国民一人あたり多くの負担を背負うことになる。今後さらに高齢化が進むことによる社会保障費等の上昇を前提とすると、現在の社会システムのままでは、この負担に耐えることは困難であり、破綻への道を進まざるをえない。このため都市計画の分野では、社会的負担と環境負荷の少ないコンパクトシティへの移行の必要性が議論されている。

このような都市活動を支える上下水道においても、これらの動きと連動して今後の都市のあり方の視点から次世代へ向けてのシステムを検討していく必要がある。

#### (1) I、N流域における都市のコンパクト化手法。

前項の2元給水の検討では、人口密度が高く市街地が近接するN流域において、低密度なI流域より大きな導入効果が得られるとの結果を得た。

ここでは、7-1-3で提示した「流域水環境健全化指数」および「地球環境指標」の条件を満たすことを目的として、これまでの諸対策に加え、I、N流域において上流域をすべて自然緑地化し下流域に市街地を集約するという都市のコンパクト化対策導入の効果を検討する。

I流域では、図4-2(1)に示した上流域側のI-1、I-2流域にある宅地を農地化、その他用地を森林化し、下流域のI-3、I-4流域に人口を集積し都市を高密度化することとした。表7-2-6(1)、(2)は現状の土地利用とそれをベースとした宅地のコンパクト化、表7-2-6(3)、(4)は2050年シナリオで想定した土地利用とそれをベースとしてコンパクト化した後の土地利用内訳である。

また、N流域においては、N1流域の宅地を農地化、その他用地を森林化し2000と2050シナリオについてそれぞれN2、N3、N4に人口を集積し土地利用を高密度化した(表7-2-6(5)～(8))。

表7-2-6(1) I流域の現状(2000)シナリオでの土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
I-1	2	26	1	1	1	4	35	2	28	571
I-2	3	38	5	1	2	6	55	5	41	909
I-3	8	35	8	2	3	14	70	9	43	1286
I-4	12	20	11	3	4	10	60	9	32	1500
合計	25	119	25	7	10	34	220	25	144	1136

表7-2-6(2) I流域での現状(2000)シナリオの宅地をコンパクト化した土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
I-1	3	30	0	1	1	0	35	0	33	0
I-2	8	44	0	1	2	0	55	0	52	0
I-3	8	35	8	2	3	14	70	13	43	1857
I-4	12	20	11	3	4	10	60	12	32	2000
合計	31	129	19	7	10	24	220	25	160	1136

表7-2-6(3) I流域の2050年シナリオでの土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
I-1	2	26	1	1	1	4	35	1	28	286
I-2	4	38	4	1	2	6	55	4	42	727
I-3	8	35	8	2	3	14	70	8	43	1143
I-4	13	20	8	4	5	10	60	8	33	1333
合計	27	119	21	8	11	34	220	21	146	955

表7-2-6(4) I流域での2050年シナリオの宅地をコンパクト化した土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
I-1	3	30	0	1	1	0	35	0	33	0
I-2	8	44	0	1	2	0	55	0	52	0
I-3	8	35	8	2	3	14	70	10	43	1429
I-4	13	20	8	4	5	10	60	11	33	1833
合計	32	129	16	8	11	24	220	21	161	955

表7-2-6(5) N流域の現状(2000)シナリオでの土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
N1	4	6	5	1	1	3	20	7	10	3500
N2	2	0	5	1	1	1	10	6	2	6000
N3	2	0	5	1	1	1	10	6	2	6000
N4	2	0	5	1	1	1	10	6	2	6000
合計	10	6	20	4	4	6	50	25	16	5000

表7-2-6(6) N流域の現状(2000)シナリオの宅地をコンパクト化した土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
N1	9	9	0	1	1	0	20	0	18	0
N2	2	0	5	1	1	1	10	8.33	2	8333
N3	2	0	5	1	1	1	10	8.33	2	8333
N4	2	0	5	1	1	1	10	8.33	2	8333
合計	15	9	15	4	4	3	50	25	24	5000

表7-2-6(7) N流域の2050シナリオでの土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
N1	5	6	4	1	1	3	20	6	11	3000
N2	3	0	3	2	1	1	10	4	3	4000
N3	2	0	3	1	2	2	10	4	2	4000
N4	2	0	4	1	1	2	10	4	2	4000
合計	12	6	14	5	5	8	50	18	18	3600

表7-2-6(8) N流域での2050シナリオの宅地をコンパクト化した土地利用内訳

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
N1	9	9	0	1	1	0	20	0	18	0
N2	3	0	3	2	1	1	10	6	3	6000
N3	2	0	3	1	2	2	10	6	2	6000
N4	2	0	4	1	1	2	10	6	2	6000
合計	16	9	10	5	5	5	50	18	25	3600

## (2) 都市のコンパクト化が各指標に及ぼす効果。

都市のコンパクト化は、河川平常時流量や水質、自然緑地、地球環境など多くの指標に影響するが、ここでは、特に大きな効果があると考えられる自然緑地指標と上下水道管路にかかる地球環境とLCC指標に絞って検討した。

## 自然緑地指標

都市のコンパクト化により宅地が農地等自然緑地に転換する。その効果として、表 7-2-6(9)、(10)に示すとおり、自然緑地指標は、I流域で4～5億円/年、N流域で2～3億円/年、向上することとなった。

表7-2-6(9) 2000シナリオでの都市のコンパクト化による自然緑地指標の変化

	2000(コンパクト化前)			2000(コンパクト化後)			
	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	指標値 (億円/年)	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	指標値 (億円/年)	指標値の差 (億円/年)
I流域	25	119	30.6	31	129	35.16	4.56
N流域	10	6	6	15	9	9	3

表7-2-6(10) 2050Bシナリオでの都市のコンパクト化による自然緑地指標の変化

	2050B(コンパクト化前)			2050B(コンパクト化後)			
	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	指標値 (億円/年)	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	指標値 (億円/年)	指標値の差 (億円/年)
I流域	27	119	31.62	32	129	35.67	4.05
N流域	12	6	7.02	16	9	9.51	2.49

## 地球環境とLCC指標

## 上下水道配管内訳

土地利用の集約化による上下水道配管の口径別延長を、前節と同様の手法で表7-2-6(11)～(14)に示す通り設定した。なお上水道は2元給水システムとした。

表7-2-6(11) コンパクト化後の上水道配管内訳(2000)

(単位: km)

	I流域				N流域			
	(2元)a		(2元)b		(2元)a		(2元)b	
管径(mm)	上水管	中水管	上水管	中水管	上水管	中水管	上水管	中水管
50～100	534	534	548	519	314	314	320	309
150～250	300	300	326	273	181	181	192	171
300～500	80	80	39	121	36	36	20	52
600～700	0	0	0	0	0	0	0	0
800～900	0	0	0	0	0	0	0	0
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	918	918	918	918	534	534	534	534

表7-2-6(12) コンパクト化後の上水道配管内訳(2050B)

(単位: km)

管径(mm)	I 流域				N 流域			
	(2元)a		(2元)b		(2元)a		(2元)b	
	上水管	中水管	上水管	中水管	上水管	中水管	上水管	中水管
50～100	502	502	510	493	248	248	250	246
150～250	290	290	306	275	146	146	151	142
300～500	55	55	32	79	21	21	14	27
600～700	0	0	0	0	0	0	0	0
800～900	0	0	0	0	0	0	0	0
1000以上	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	850	850	850	850	417	417	417	417

表7-2-6(13) コンパクト化後の下水道配管内訳(2000)

(単位: km)

管径	I 流域					N 流域				
	I-1	I-2	I-3	I-4	計	N-1	N-2	N-3	N-4	計
200	0	0	135	123	258	0	77	77	77	231
250	0	0	66	60	125	0	37	37	37	112
300	0	0	32	29	61	0	18	18	18	55
400	0	0	15	14	30	0	9	9	9	27
500	0	0	8	7	14	0	4	4	4	13
600	0	0	4	3	7	0	2	2	2	6
700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	0	259	237	495	0	148	148	148	444

表7-2-6(14) コンパクト化後の下水道配管内訳(2050B)

(単位: km)

管径	I 流域					N 流域				
	I-1	I-2	I-3	I-4	計	N-1	N-2	N-3	N-4	計
200	0	0	108	114	223	0	57	57	57	170
250	0	0	53	56	108	0	27	27	27	82
300	0	0	26	27	53	0	13	13	13	40
400	0	0	12	13	26	0	6	6	6	19
500	0	0	6	6	12	0	3	3	3	9
600	0	0	3	3	6	0	2	2	2	5
700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	0	208	220	428	0	109	109	109	326

都市のコンパクト化が上下水道管路の地球環境とLCC指標値に及ぼす効果

2000と2050Bの2つのシナリオについて、コンパクト化後の2元給水の各ケースにおける上下水道管路の地球環境とLCC指標の計算結果を表7-2-6(15)(17)に、コンパクト化による効果を表7-2-6(16)、(18)に示す。また、比較のために1元給水のケース1-1、ケース1-2も同じ表に示した。

これらによればケース1-1、1-2に比較して2元給水は、コンパクト化による効果が大きく、2元給水ではいずれのケースも効果は同じという結果となった。

表7-2-6(15) コンパクトシティにおける上下水道管路の地球環境とLCC指標(2000)

ケース	I流域 (単位:億円/年)				N流域 (単位:億円/年)			
	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA計	LCC	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA計	LCC
(2元)1a	-1.14	-0.73	-1.87	-22.77	-0.81	-0.52	-1.33	-16.17
(2元)1b	-1.14	-0.73	-1.87	-22.77	-0.81	-0.52	-1.33	-16.17
(2元)2a	-1.14	-0.73	-1.87	-22.77	-0.81	-0.52	-1.33	-16.17
(2元)2b	-1.14	-0.73	-1.87	-22.77	-0.81	-0.52	-1.33	-16.17
1-1	-0.83	-0.53	-1.36	-16.58	-0.63	-0.40	-1.03	-12.57
1-2	-0.83	-0.53	-1.36	-16.58	-0.63	-0.40	-1.03	-12.57

表7-2-6(16) 都市のコンパクト化による地球環境とLCC指標への効果(2000)

ケース	I流域 (単位:億円/年)				N流域 (単位:億円/年)			
	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA計	LCC	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA計	LCC
(2元)1a	0.28	0.18	0.46	5.58	0.06	0.04	0.10	1.22
(2元)1b	0.28	0.18	0.46	5.58	0.06	0.04	0.10	1.22
(2元)2a	0.28	0.18	0.46	5.58	0.06	0.04	0.10	1.22
(2元)2b	0.28	0.18	0.46	5.58	0.06	0.04	0.10	1.22
1-1	0.16	0.10	0.27	3.25	0.04	0.02	0.06	0.70
1-2	0.16	0.10	0.27	3.25	0.04	0.02	0.06	0.70

表7-2-6(17) コンパクトシティにおける上下水道管路の地球環境とLCC指標(2050B)

ケース	I流域 (単位:億円/年)				N流域 (単位:億円/年)			
	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA計	LCC	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA計	LCC
(2元)1a	-1.01	-0.65	-1.67	-20.25	-0.61	-0.39	-1.00	-12.12
(2元)1b	-1.01	-0.65	-1.67	-20.25	-0.61	-0.39	-1.00	-12.12
(2元)2a	-1.01	-0.65	-1.67	-20.25	-0.61	-0.39	-1.00	-12.12
(2元)2b	-1.01	-0.65	-1.67	-20.25	-0.61	-0.39	-1.00	-12.12
1-1	-0.73	-0.47	-1.20	-14.52	-0.47	-0.30	-0.77	-9.31
1-2	-0.73	-0.47	-1.20	-14.52	-0.47	-0.30	-0.77	-9.31

表7-2-6(18) 都市のコンパクト化による地球環境と LCC 指標への効果(2050B)

ケース	I流域 (単位:億円/年)				N流域 (単位:億円/年)			
	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA 計	LCC	エネルギー	CO <sub>2</sub>	LCA 計	LCC
(2元)1a	0.28	0.18	0.46	5.53	0.06	0.04	0.10	1.27
(2元)1b	0.28	0.18	0.46	5.53	0.06	0.04	0.10	1.27
(2元)2a	0.28	0.18	0.46	5.53	0.06	0.04	0.10	1.27
(2元)2b	0.28	0.18	0.46	5.53	0.06	0.04	0.10	1.27
1-1	0.16	0.10	0.26	3.21	0.04	0.02	0.06	0.75
1-2	0.16	0.10	0.26	3.21	0.04	0.02	0.06	0.75

## (3) 上下水道システムから見た都市のコンパクト化の効果の総合評価

2000と2050Bの2つのシナリオについて、I、N流域における都市のコンパクト化の効果を総計したものを表7-2-6(19)～(22)に示す。

これらによれば、都市のコンパクト化は、I、Nいずれの流域でも、従来の1元給水システムより2元給水システムでより大きな効果を及ぼす結果となった。表7-2-5(13)～(16)に示した2元給水の総合評価結果に、これらの効果を反映させると表7-2-6(23)～(26)に示す結果となった。これによれば、都市のコンパクト化は、I流域に対しては、「域水指数」を20%～30%向上させ、コンパクト化前は、現況、将来とも従前の1元給水のケース1-2が最も高い評価であったのに対して(表7-2-5(13)、(14))、コンパクト化後は、現況(2000)シナリオでは**2元給水のケース1b**が最も高い評価となり、将来シナリオではコンパクト化前と同じ**ケース1-2**が最も高い評価となった。

一方、N流域では域水指数の向上は、10%程度であるが、各ケースの評価順位は、コンパクト化前は現況シナリオで2元給水のケース1b(表7-2-5(15))、将来シナリオで1元給水のケース1-2(表7-2-5(16))が高い評価であったが、コンパクト化後は現況、将来とも、**2元給水のケース1b**が最も高い評価となった(表7-2-6(25)、(26))。

表7-2-6(19) I流域における2000シナリオでの都市のコンパクト化効果の総括(単位:億円/年)

ケース	1-1	1-2	(2元)1a	(2元)1b	(2元)2a	(2元)2b
地球環境	0.27	0.27	0.46	0.46	0.46	0.46
自然緑地	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56
LCC	3.25	3.25	5.58	5.58	5.58	5.58
合計	8.08	8.08	10.60	10.60	10.60	10.60



表 7-2-6(20) I 流域における 2050B シナリオでの都市のコンパクト化効果の総括(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境	0.26	0.26	0.46	0.46	0.46	0.46
自然緑地	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05
LCC	3.21	3.21	5.53	5.53	5.53	5.53
合計	7.52	7.52	10.04	10.04	10.04	10.04

表 7-2-6(21) N 流域における 2000 シナリオでの都市のコンパクト化効果の総括(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境	0.06	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10
自然緑地	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
LCC	0.70	0.70	1.22	1.22	1.22	1.22
合計	3.76	3.76	4.32	4.32	4.32	4.32

表 7-2-6(22) N 流域における 2050B シナリオでの都市のコンパクト化効果の総括(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境	0.06	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10
自然緑地	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
LCC	0.75	0.75	1.27	1.27	1.27	1.27
合計	3.30	3.30	3.86	3.86	3.86	3.86

表 7-2-6(23) I 流域における 2000 シナリオでの都市のコンパクト化後の総合指標値(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	20.8	18.8	<u>20.7</u>	21.7	20.6	20.3
水道指標	-3.8	-3.5	<b>-3.3</b>	<b>-3.3</b>	-4.0	-4.1
地球環境	-10.8	<u>-9.2</u>	-12.1	-10.3	-11.3	-9.8
小計(域水環境指数)	6.2	6.1	5.3	<u>8.1</u>	5.3	6.3
LCC-エネ	-31.8	<u>-31.1</u>	-34.9	-31.9	-33.7	-31.7
計(域水指標)	-25.6	-25.0	-29.6	<u>-23.7</u>	-28.4	-25.4

表 7-2-6(24) I 流域における 20B0B シナリオでの都市のコンパクト化後の総合指標値(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	18.4	17.1	<u>19.1</u>	18.9	18.2	18.0
水道指標	-3.2	<u>-2.8</u>	-3.7	-2.5	-3.0	-2.9
地球環境	-7.6	<u>-6.6</u>	-8.8	-7.7	-8.3	-7.4
小計(域水環境指数)	7.6	7.6	6.6	<u>8.6</u>	6.9	7.7
LCC-エネ	-25.7	<u>-25.2</u>	-29.6	-27.7	-28.7	-27.5
計	-18.1	<u>-17.6</u>	-23.1	-19.0	-21.8	-19.8

表 7-2-6(25) N 流域における 2000 シナリオでの都市のコンパクト化後の総合指標値(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	-2.5	-4.0	-3.0	-3.7	-4.1	-4.0
水道指標	-3.8	-4.0	-3.0	<u>-3.0</u>	-3.8	-3.9
地球環境	-11.6	<u>-8.6</u>	-10.6	-8.9	-8.6	-8.4
小計(域水環境指数)	-17.9	-16.6	-16.6	<u>-15.7</u>	-16.5	-16.3
LCC-エネ	-27.4	-26.5	-28.2	<u>-25.7</u>	-26.7	-25.4
計(域水指標)	-45.3	-43.2	-44.8	<u>-41.3</u>	-43.2	-41.7

表 7-2-6(26) N 域における 2050B シナリオでの都市のコンパクト化後の総合指標値(単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	<u>-4.1</u>	-5.2	-4.4	-5.0	-5.2	-5.2
水道指標	-4.5	-3.1	-3.3	<u>-2.2</u>	-3.0	-2.9
地球環境	-6.7	<u>-5.1</u>	-6.9	-5.7	-5.8	<u>-5.4</u>
小計(域水環境指数)	-15.3	-13.3	-14.6	<u>-12.8</u>	-14.0	-13.4
LCC-エネ	-19.2	-18.6	-20.5	<u>-18.8</u>	-19.5	<u>-18.5</u>
計(域水指標)	-34.5	-32.0	-35.1	<u>-31.6</u>	-33.5	-32.0

#### (4) N 流域における更なる都市のコンパクト化とその効果

以上のように都市のコンパクト化は流域の水循環システムの視点からも効果的との結果が得られ、これらの対策によっても、N 流域においては、最も望ましい 2050B シナリオのケース(2 元) 1b でも「域水環境指数」は -12.8 億円/年とマイナスになり、依然として 7-1-3 で示した(1)の条件(域水環境指数プラス)は満足しない。

都市のコンパクト化の効果に関する既往の研究では、「マクロな視点から様々な指標を用いて都市環境評価を行った結果、快適な生活環境の実現には、ある一定の経済力や人口密度が必要であることが

示された。しかしながら、人口密度が200人/haを超えると通勤時間・距離が増加する傾向が示された。また、交通に関連する排出ガス量は人口密度が100人/haまでは減少傾向を示すが、100人/haを超えると徐々に増加する傾向を示した。この結果、過度な高密度化は負荷の増大を示す可能性が示唆された。」との報告<sup>22)</sup>もなされている。このような都市のコンパクト化は一定規模までは都市環境の向上に資するが、人口密度が1万人/km<sup>2</sup>を超過するとむしろ悪化する要因が生じることも考えられるが、ここではN流域における現状(2000)シナリオで1.3万人/km<sup>2</sup>(表7-2-6(27))、将来(2050)シナリオで9万人/km<sup>2</sup>(表7-2-6(28))まで人口密度を増大するケースC2についても検討した。

N流域における更なるコンパクト化の効果を表7-2-6(29)、表7-2-6(30)に、総合指標値を表7-2-6(31)～表7-2-6(32)に示す。これによれば、N流域では、更なるコンパクト化C2の実施により、さらに2億円/年程度の効果が期待でき、現状(2000)、将来(2050B)両シナリオともに2元給水のケース1bが有利との結果が示された。

表7-2-6(27) N流域の宅地をさらにコンパクト化した土地利用内訳(2000-C2)

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
N1	9	9	0	1	1	0	20	0	18	0
N2	7	1	0	1	1	0	10	0	8	0
N3	2	0	5	1	1	1	10	12	2	12000
N4	2	0	5	1	1	1	10	13	2	13000
合計	20	10	10	4	4	2	50	25	30	5000

表7-2-6(28) N流域の宅地をさらにコンパクト化した土地利用内訳(2050B C2)

流域	農地 (km <sup>2</sup> )	森林 (km <sup>2</sup> )	宅地 (km <sup>2</sup> )	水面 (km <sup>2</sup> )	道路 (km <sup>2</sup> )	その他 (km <sup>2</sup> )	合計 (km <sup>2</sup> )	人口 (万人)	自然面積 (km <sup>2</sup> )	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
N1	9	9	0	1	1	0	20	0	9	0
N2	6	1	0	2	1	0	10	0	6	0
N3	2	0	3	1	2	2	10	9	2	9000
N4	2	0	4	1	1	2	10	9	2	9000
合計	19	10	7	5	5	4	50	18	19	3600

表7-2-6(29) N流域における都市のコンパクト化の効果(2000-C2) (単位:億円/年)

ケース	1-1	1-2	(2元)1a	(2元)1b	(2元)2a	(2元)2b
地球環境	0.08	0.08	0.14	0.14	0.14	0.14
自然緑地	5.70	5.70	5.7	5.7	5.7	5.7
LCC	0.98	0.98	1.76	1.76	1.76	1.76
合計	6.76	6.76	7.60	7.60	7.60	7.60

表 7-2-6(30) N 流域における都市のコンパクト化の効果(2050B C2) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境	0.09	0.09	0.15	0.15	0.15	0.15
自然緑地	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17	4.17
LCC	1.08	1.08	1.85	1.85	1.85	1.85
合計	5.33	5.33	6.17	6.17	6.17	6.17

表 7-2-6(31) N 流域での都市のコンパクト化後の総合指標値(2000-C2) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	0.2	-1.3	-0.3	-1.0	-1.4	-1.3
水道指標	-3.8	-4.0	-3.0	<u>-3.0</u>	-3.8	-3.9
地球環境	-11.6	<u>-8.6</u>	-10.5	-8.9	-8.6	-8.4
小計	-15.1	-13.9	-13.8	<u>-12.9</u>	-13.8	-13.6
LCC-エネ	-27.1	-26.2	-27.7	<u>-25.1</u>	-26.2	-24.9
計	-42.3	-40.2	-41.5	<u>-38.1</u>	-39.9	-38.5

表 7-2-6(32) N 流域での都市のコンパクト化後の総合指標値(2050B C2) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	-2.4	-3.5	-2.7	-3.3	-3.5	-3.5
水道指標	-4.5	-3.1	-3.3	<u>-2.2</u>	-3.0	-2.9
地球環境	-6.7	<u>-5.1</u>	-6.8	-5.6	-5.8	-5.3
小計	-13.6	-11.6	-12.9	<u>-11.1</u>	-12.2	-11.7
LCC-エネ	-18.9	-18.3	-20.0	<u>-18.0</u>	-19.0	-17.7
計	-32.5	-29.9	-32.8	<u>-29.1</u>	-31.2	-29.4

なお、これらの表で(2000 - C2)、(2050B - C2)と表記しているのは、2000及び2050B シナリオの更なるコンパクト化C2実施後を示す。

### 7-2-7 土地利用誘導対策の評価

これまで検討した各対策により「域水指数」をはじめとした多くの指標において各指標値の大幅な向上が確認された。しかしながら、2050年の「域水環境指数」をプラスにするという7-1-3(1)で提示した目標は、N流域では依然として達成できていない。また、地球環境指標を20～40%削減する7-1-3(2)の目標についても、I流域では10%程度の効果に止まっており、これらの設定目標を達成するためには、さらに新たな対策が必要となる。そこで新たに土地利用誘導策により河川の洪水対策や接近度、自然度の向上させ河川指標の低減を図る方策を検討した。

#### (1) 洪水及び接近度・自然度対策

洪水対策としてこれまで流域対策としての雨水浸透、貯留について検討したが、今後のわが国の人口減少と都市のコンパクト化による市街地の再編成を踏まえ、洪水氾濫区域内にある市街地を自然緑地に誘導することが、洪水被害額の低減を図る対策としてより有効と考える。しかし、特に市街地での流域対策には洪水対策としての効果はあるものの、LCAやLCCの視点からは、むしろ指標値を悪化させることもある。地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>排出削減を目指すためには、地球環境指標を悪化させない手法の導入が不可欠である。この点、土地利用の誘導は、土地の価値や所有権問題から政治的には困難も予想されるが、新たに地球環境への負荷を与えないという点では有効な手法である。

国土審議会小委員会報告<sup>23)</sup>では「災害によるリスクをあらかじめ回避するという観点からは、災害の危険性のある区域を減らすという対策に加えて、災害の危険性のある区域の居住者等をより安全な地域へと誘導するという土地利用の制限による対策も必要である。」としており、また、日本学術会議声明<sup>24)</sup>では、「日本の大都市圏を安全で魅力あるものにする最重要の戦略の一つは水辺・緑地・風の道などを最も重要な都市インフラとして位置づけ、一元的に管理するシステムをつくることである。それらは公有地や私有地であるが、そのような所有主体の別を超えて公共の観点から一元管理することを可能にする法制度の制定が必要である。」としている。ここでは、地球環境等の視点から長期的に土地利用規制誘導政策が進められるとして、洪水被害指標は0になるとした。また、河川の接近度、自然度指標についても、同様な政策により、本来河川が有すべき理想の自然河川が形成できるだけ河川敷地を確保できるように河川沿線の土地利用の変更が図られるものとした。

以上のソフトな土地利用誘導政策を採ることにより、表7-2-7(1)に示すようにI流域、N流域それぞれにおいて現状(2000)で10～12億円/年、将来(2050B)で11～14億円/年の効果が得られる。

表7-2-7(1) I、N流域での土地利用誘導の効果 (単位:億円/年)

	2000		2050B	
	I流域	N流域	I流域	N流域
洪水被害	2.4	1.6	4.3	3.3
接近度	4.0	6.9	4.0	6.9
自然度	5.6	1.1	5.6	1.1
合計	12.1	9.6	13.9	11.3

これらの効果を考慮すると、I、N流域における総合指標値は、表7-2-7(2)～(5)のようになる。これらによれば、N流域において、現状(2000-C-R)シナリオのケース(2元)1bでは、-3.3億円/年(表7-2-7(3)の小計)と依然としてマイナスであるが、将来(2050B-C-R)シナリオのケース(2元)1bにおいては、土地利用誘導の結果「域水環境指数」は+0.2億円/年(表7-2-7(5)の小計)とプラスとなり7-1-3の(1)の目標を達成することとなった。

なお、ここで(2000-C-R)、(2050B-C-R)は各シナリオでC:都市のコンパクト化とR:土地利用誘導の実施後を表す。

表 7-2-7(2) I 流域での土地利用誘導後の指標値(2000-C-R) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2元)1a	(2元)1b	(2元)2a	(2元)2b
河川流域指標	32.9	<u>30.8</u>	32.7	33.7	32.7	32.3
水道指標	-3.8	-3.5	-3.3	<u>-3.3</u>	-4.0	-4.1
地球環境	-10.8	<u>-9.2</u>	-12.1	-10.3	-11.3	<u>-9.8</u>
小計(域水健全度)	18.3	18.2	17.3	<u>20.2</u>	17.4	18.4
LCC-エネ	-31.8	-31.1	-34.9	-31.9	-33.7	<u>-31.7</u>
合計(域水指数)	-13.5	-13.0	-17.6	<u>-11.7</u>	-16.3	-13.4

表 7-2-7(3) I 流域での土地利用誘導後の指標値(2050B-C-R) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2元)1a	(2元)1b	(2元)2a	(2元)2b
河川流域指標	32.3	<u>31.0</u>	33.0	32.8	32.2	31.9
水道指標	-3.2	-2.8	-3.7	<u>-2.5</u>	-3.0	-2.9
地球環境	-7.6	<u>-6.6</u>	-8.8	-7.7	-8.3	-7.4
小計(域水健全度)	21.5	<u>21.5</u>	20.5	22.6	20.8	21.6
LCC-エネ	-25.7	<u>-25.2</u>	-29.6	-27.7	-28.7	-27.5
合計(域水指数)	-4.2	<u>-3.7</u>	-9.2	-5.1	-7.9	-5.9

表 7-2-7(4) N 流域での土地利用誘導後の指標値(2000-C2-R) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2元)1a	(2元)1b	(2元)2a	(2元)2b
河川流域指標	9.8	<u>8.2</u>	9.3	8.5	<u>8.2</u>	<u>8.2</u>
水道指標	-3.8	-4.0	<u>-3.0</u>	<u>-3.0</u>	-3.8	-3.9
地球環境	-11.6	-8.6	-10.5	-8.9	-8.6	<u>-8.4</u>
小計(域水健全度)	-5.6	-4.4	-4.3	<u>-3.3</u>	-4.2	-4.0
LCC-エネ	-27.1	-26.2	-27.7	-25.1	-26.2	<u>-24.9</u>
合計(域水指数)	-32.7	-30.6	-32.0	<u>-28.5</u>	-30.4	-28.9

表 7-2-7(5) N 流域での土地利用誘導後の指標値(2050B - C2-R) (単位:億円/年)

ケース	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
河川流域指標	8.9	<b>7.8</b>	8.5	<b>7.9</b>	<b>7.8</b>	<b>7.8</b>
水道指標	-4.5	-3.1	-3.3	<b>-2.2</b>	-3.0	-2.9
地球環境	-6.7	<b>-5.1</b>	-6.8	-5.6	-5.8	-5.3
小計(域水健全度)	-2.4	-0.4	-1.6	<b>0.2</b>	-1.0	-0.4
LCC-エネ	-18.9	-18.3	-20.0	-18.0	-19.0	<b>-17.7</b>
合計(域水指数)	-21.2	-18.7	-21.6	<b>-17.8</b>	-19.9	-18.2

また、地球環境指標の削減量と削減割合を表 7-2-7(6)～(9)に示す。I流域について、現況シナリオ(2000 - C-R)では、逆にすべてのケースで増大しており、最大でも将来(2050B-C-R)シナリオのケース1 - 2の13%で、いずれのケースも、7-1-3の(2)の目標値である20～40%削減を満たさない。一方N流域については、現状(2000)シナリオでは満たさないが、将来(2050B)シナリオにおいては総てのケースで目標値を満たすことになる。

表 7-2-7(6) I 流域での地球環境指標値の削減割合(2000 - C-R)

	2000	2000 - C - R					
	0	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境(億円/年)	-7.6	-10.8	-9.2	-12.1	-10.3	-11.3	-9.8
削減率(%)		-42	-21	-60	-36	-48	-30

表 7-2-7(7) I 流域での地球環境指標値の削減割合(2050B - C-R)

	2000	2050B - C - R					
	0	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境(億円/年)	-7.6	-7.6	-6.6	-8.8	-7.7	-8.3	-7.4
削減率(%)		-1	<b>13</b>	-16	-2	-9	2

表 7-2-7(8) N 流域での地球環境指標値の削減割合(2000 - C2-R)

	2000	2000 - C2 - R					
	0	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境(億円/年)	-9.2	-11.6	-8.6	-10.5	-8.9	-8.6	-8.4
削減率(%)		-26	7	-15	3	6	9

表 7-2-7(9) N 流域での地球環境指標値の削減割合(2050B - C2-R)

	2000	2050B - C - R					
	0	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境(億円/年)	-9.2	-6.7	-5.1	-6.8	-5.6	-5.8	-5.3
削減率(%)		27	45	26	39	37	42

## (2) 流域対策の再検討

地球環境指標の更なる削減には下水道施設の長寿命化などが考えられるが、I流域では、7-1-3の(1)の目標は大幅に達成していることに鑑み、LCC 増の要因となった流域対策を見直すことによる効果を検討した。流域対策にかかる地球環境指標値は、表 7-2-1(11)に示したように、CO<sub>2</sub> が0.4億円/年、エネルギーが0.7億円/年であり、表 7-2-7(10)はこれらの値を差し引いた流域対策を実施しない場合の地球環境指標値である。

これによれば現状シナリオ(2000:ケース0)に対して、将来シナリオ(2050B:ケース1-2)で約30%の削減が図れることとなり、目標値を満足する。

表 7-2-7(10) I流域での地球環境指標値の削減割合

	2000	2050B					
	0	1 - 1	1 - 2	(2 元) 1a	(2 元) 1b	(2 元) 2a	(2 元) 2b
地球環境(億円/年)	-7.6	-6.6	-5.6	-7.7	-6.7	-7.2	-6.4
削減率(%)		13	27	-2	12	5	16



## 7-2-8新たに導入した方策の効果の総括

### (1)新たに導入した方策の重層関係

これまで次世代へ向けて上下水道システム構築のために検討した新たな方策は、流域対策、浄水の膜処理、上水道管路の高機能化(耐震化、長寿命化)、2元給水、都市のコンパクト化、土地利用誘導であるが、これらの各対策は表 7-2-8(1)に示すように、流域対策をベースに順次追加的に実施することとしておりその効果も上乘せ分となっている。

表 7-2-8(1) 新たな方策の検討ケースと方策の重複関係

シナリオ	ケース	流域 対策	浄水 膜処理	管路の 高機能化	2元給水	都市のコンパクト 化、土地利用誘導
2000	0、1、2、3		+	+		
	1-1、1-2		+	+		+
	1a,1b,2a,2b				+	+
2050A	0、1、2、3		+			
	1-1、1-2		+			
2050B	0、1、2、3		+	+		
	1-1、1-2		+	+		+
	1a,1b,2a,2b				+	+

### (2)各方策の効果

#### 1元給水における新たな方策の効果

図 7-2-8(1)～(4)に、流域対策、浄水膜処理、管路の高機能化が総合指標に及ぼす効果を示す。これらによれば、現状(2000)シナリオにおいては、I流域に関しては上水管路の高機能化の効果が大きい。N流域では、管路の高機能化とともに流域対策の効果も大きく、ケース1-2では、膜処理効果も大きい。また、将来(2050B)においては、流域対策の効果が増大しており、特にI流域ではケース1で、N流域では、ケース1-2でその効果は大きい。

図 7-2-8(5)～(8)に示すように、これらの新たな方策の実施前は、現状(2000)シナリオではI流域においてはケース3、N流域においてはケース1-1、将来(2050B)シナリオで、I、N流域ともケース1-1が最も望ましいとの結果であったが、各方策の実施により、1元給水による検討ケースでは、現状(2000)シナリオではI流域N流域ともケース1-2が、将来シナリオでもI、N流域ともケース1-2といずれの場合も自律分散型のケース1-2が次世代へ向けた上下水道システムとして望ましいという結果となった。

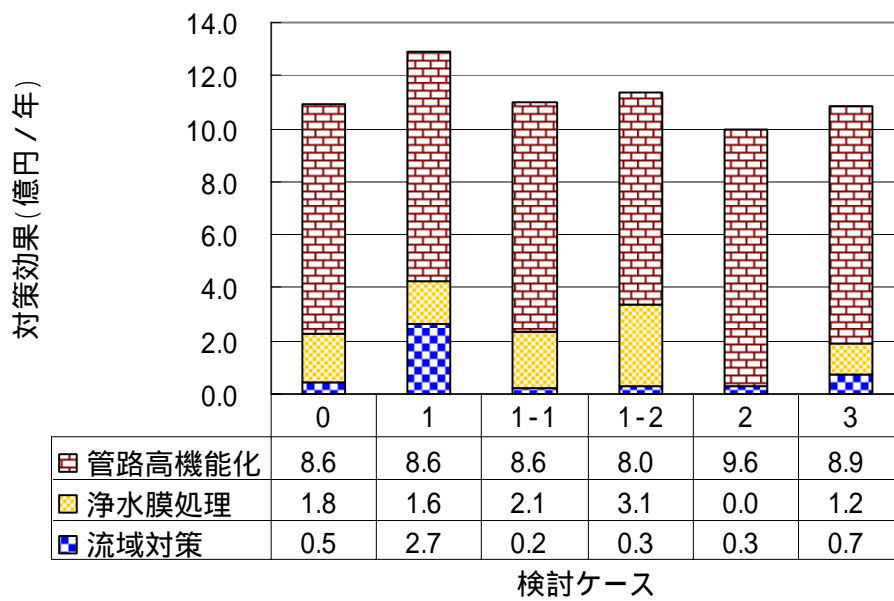


図 7-3-8(1) 2000シナリオでのⅠ流域における新たな対策の効果

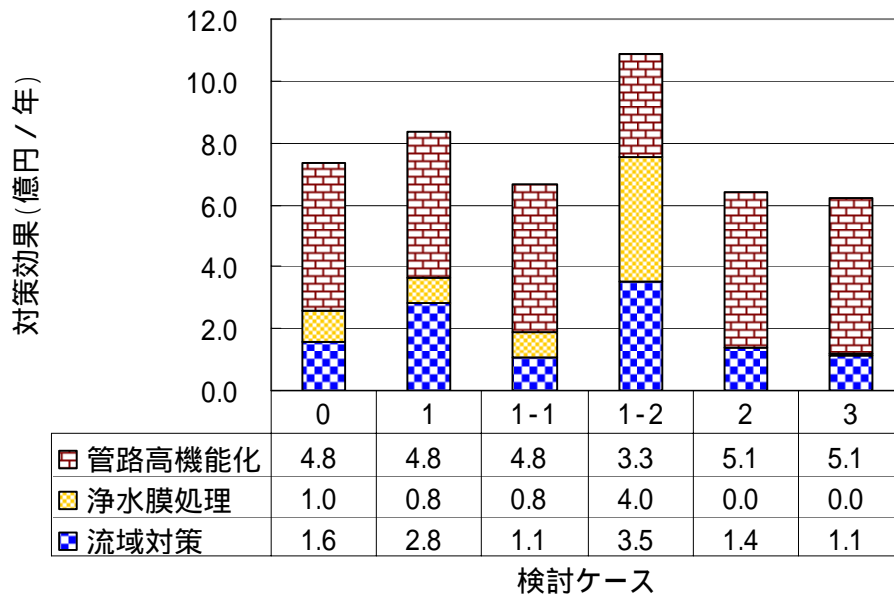


図 7-3-8(2) 2000シナリオでのⅡ流域における新たな対策の効果

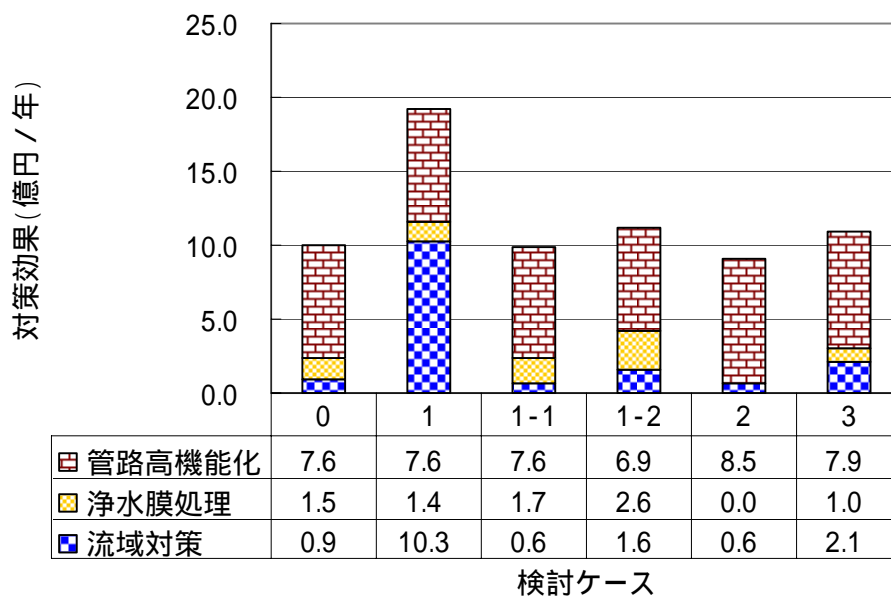


図 7-3-8 (3) 2050B シナリオでの I 流域における新たな対策の効果

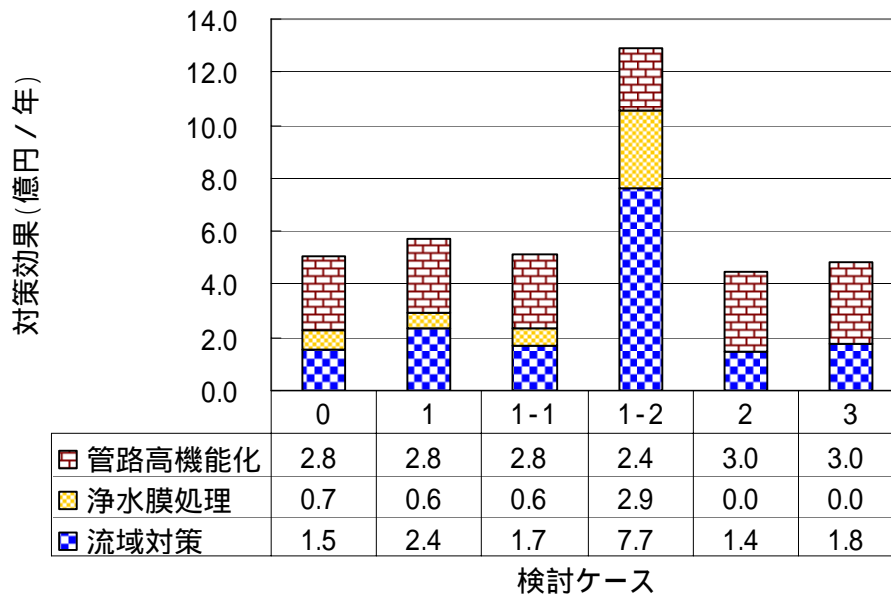


図 7-3-8 (4) 2050B シナリオでの N 流域における新たな対策の効果

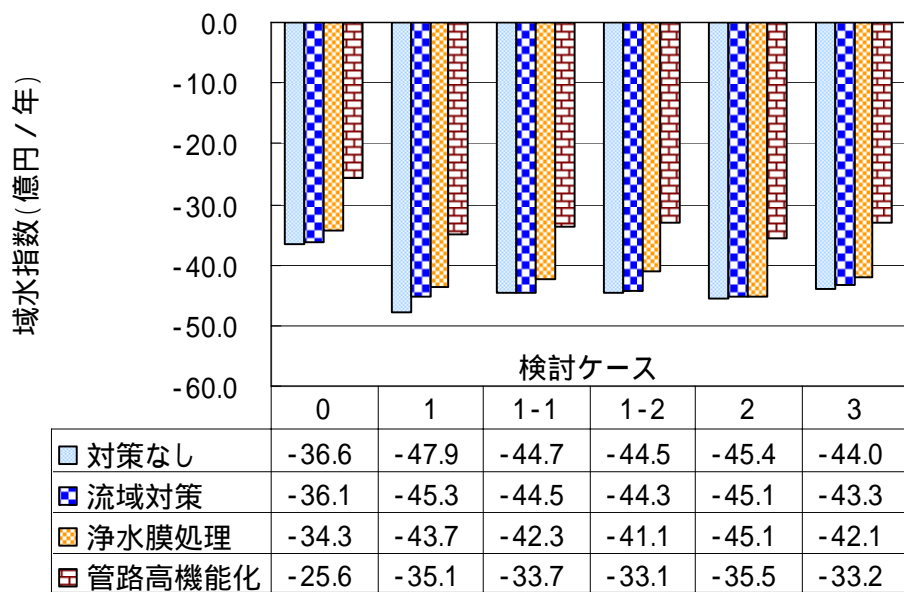


図 7-3-8 (5) 2000シナリオでの I 流域における新たな対策による「域水指数」の変化

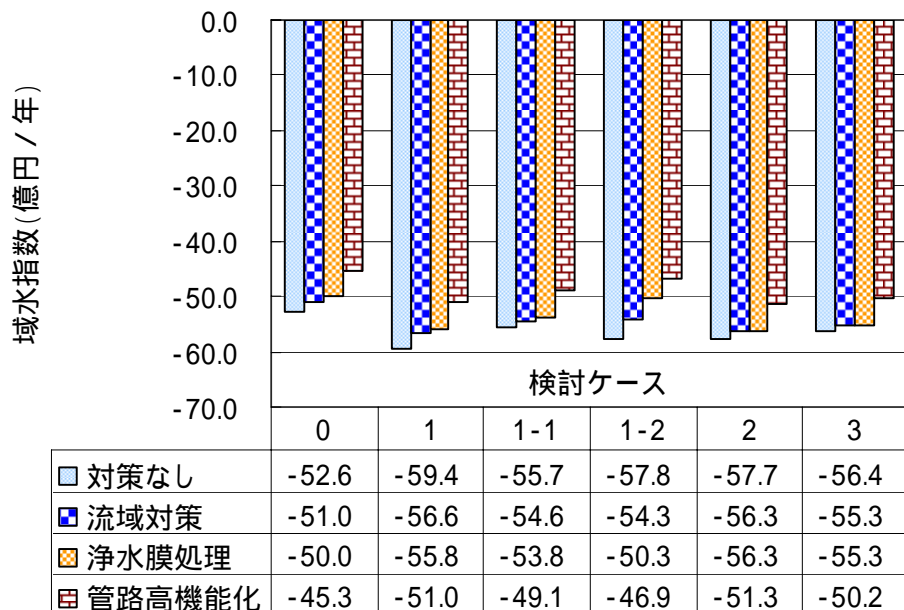


図 7-3-8 (6) 2000シナリオでの N 流域における新たな対策による「域水指数」の変化

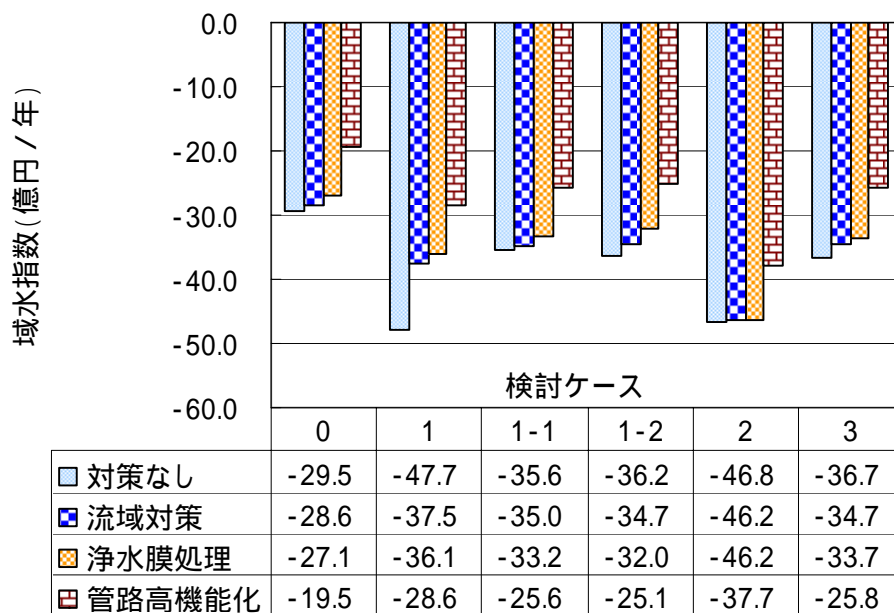


図 7-3-8(7) 2050B シナリオでの I 流域における新たな対策による「域水指数」の変化

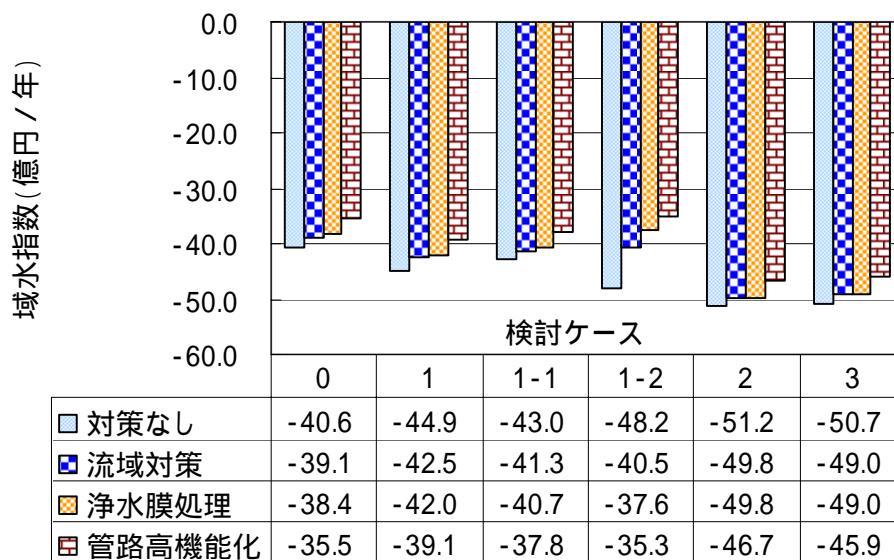


図 7-3-8(8) 2050B シナリオでの N 流域における新たな対策による「域水指数」の変化

## 2元給水を含めた効果

図 7-2-8(9)、(10)にI、N流域の1元給水と2元給水に対する都市のコンパクト化と土地利用誘導の効果を示す。これらによると土地利用誘導効果とコンパクト化はともに、N流域に比べI流域で効果が大きく、1元給水に比べ2元給水で効果が大きい。また、図 7-2-8(11)～(14)に、2元給水の4ケースと1元給水の2ケース(1-1、1-2)について、都市のコンパクト化や土地利用誘導策の効果による総合指標値の変化を示す。これによれば、総合評価指標(域水指数)による最も望ましいケースは、現状(2000)ではI流域については、新たな方策実施前は、ケース1-2であったが、実施後は2元1bとなり、N流域については、方策実施前後とも2元1bとなっている。将来(2050B)においては、I流域については、方策実施の前後でケース1-2は変わらず、N流域については、実施前のケース1-2が実施後は2元1bとなっている。

以上より、「域水指数」を用いた評価では、これらすべての方策の実施を前提とすると、将来的にはI流域では1元給水で自律分散型のケース1-2、N流域では2元給水で、上水の供給量を最小限の炊事、洗面用に絞りその水源を用水供給に依存する2元1が望ましいとの結果となった。

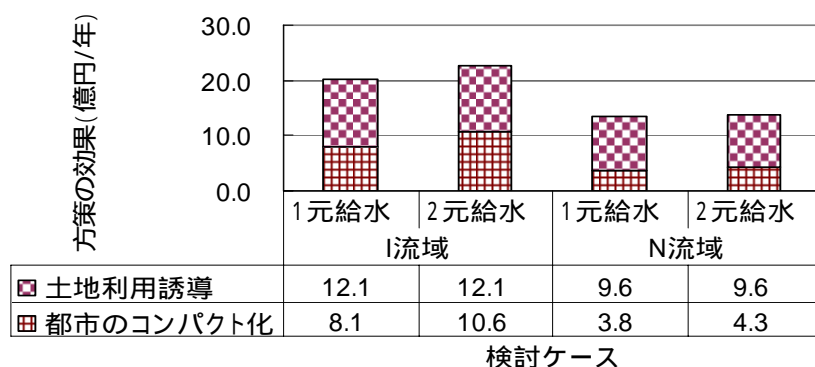


図 7-2-8(9) 2000シナリオの2元給水における都市のコンパクト化と土地利用誘導による効果

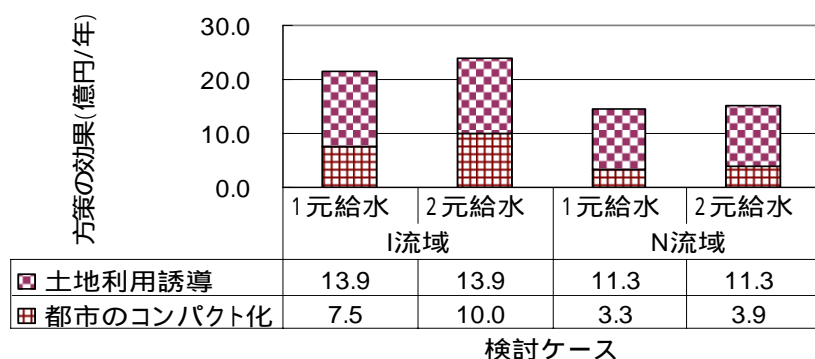


図 7-2-8(10) 2050Bシナリオの2元給水における都市のコンパクト化と土地利用誘導による効果

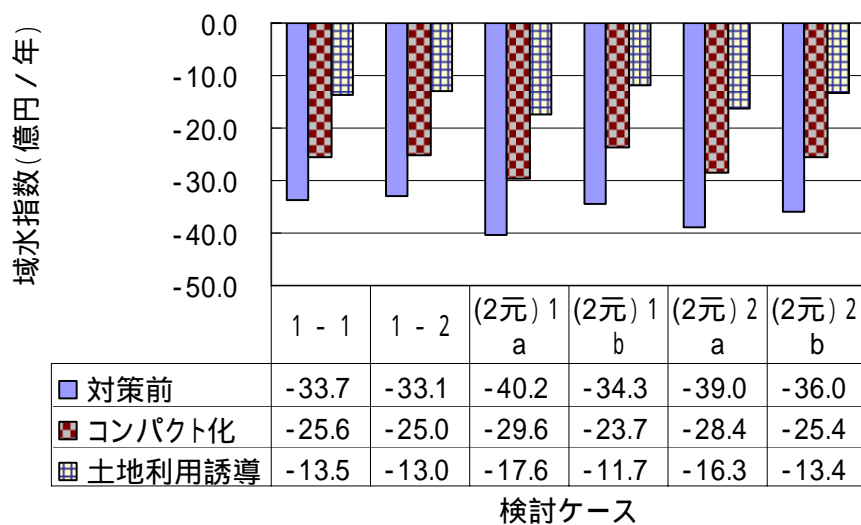


図 7-2-8 (11) I流域の都市のコンパクト化と土地利用誘導による「域水指数」の変化(2000)

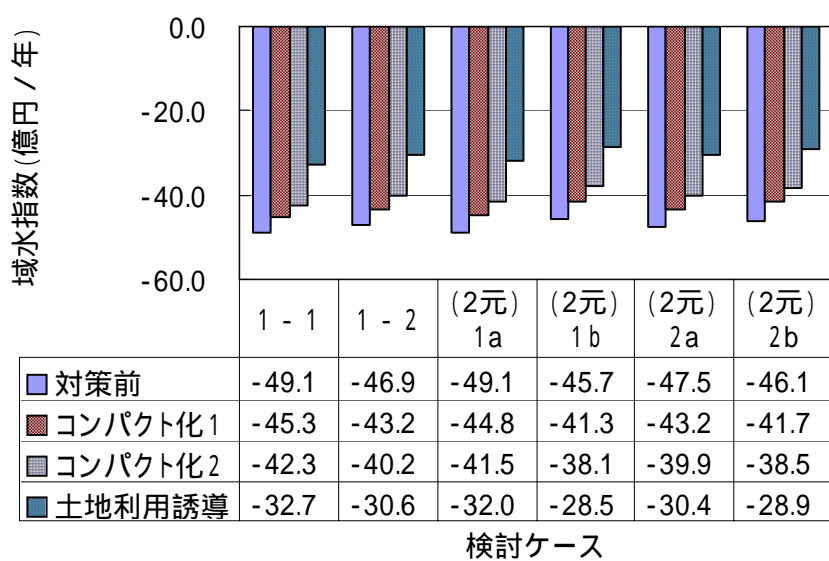


図 7-2-8 (12) N流域の都市のコンパクト化と土地利用誘導による「域水指数」の変化(2000)

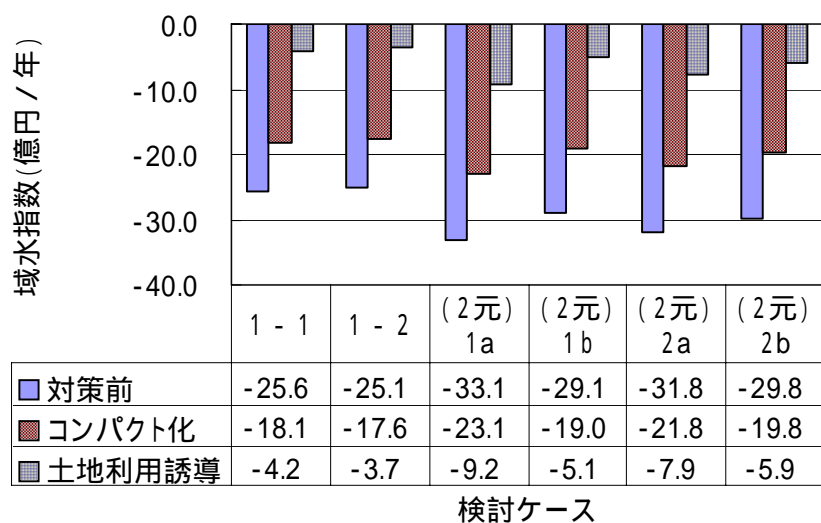


図 7-2-8 (13) I流域の都市のコンパクト化と土地利用誘導による「域水指数」の変化(2050)

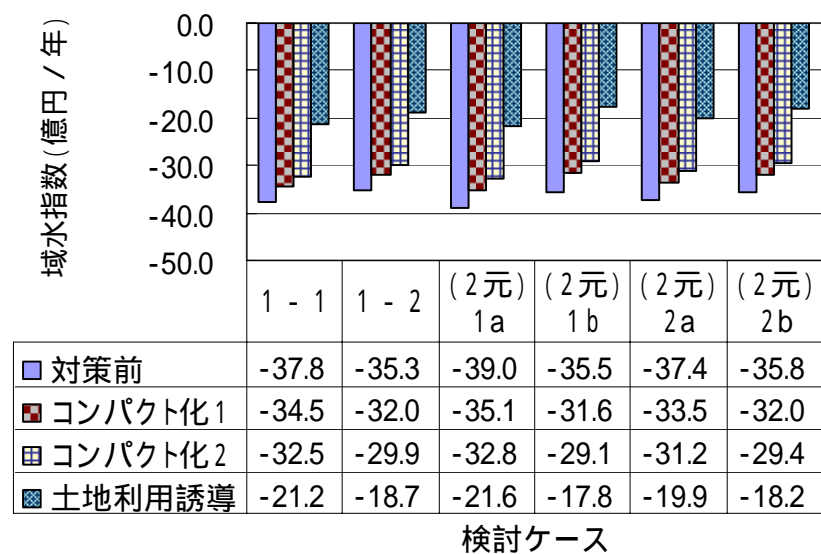


図 7-2-8 (14) N流域の都市のコンパクト化と土地利用誘導による「域水指数」の変化(2050)



### 7-3 次世代へ向けての上下水道システムの再構築に関する総合的考察

前節では、望ましい上下水道システム構築のための新たな方策について検討し、「域水指数」を用いて、それらの方策が今回設定した上下水道システムに及ぼす効果について評価を行った。本節では、7-1で設定した目標値を軸として総合的に評価するとともに、新たな水資源等による制約条件からの検討も加え、次世代へ向けた上下水道システムを構築するための施策とその実現へ向けての道筋を考察した。

#### 7-3-1 次世代へ向けての上下水道システムの再構築のための新たな方策の総合評価

##### (1) 次世代へ向けた上下水道システム構築のための方策

これまでの検討を基に次世代へ向けた上下水道構築のためのシナリオやケース、方策を整理すると以下の通りとなる。

2050A、2050B シナリオを比較すると、第6章の将来シナリオでの総合評価等により、一人当たりの給水量を節水等により削減する節水型のシナリオBをとる必要がある。

本節での流域対策や膜処理、水道管路の耐震化や長寿命化の導入検討により、これらの対策は総合評価指標『域水指数』を大きく向上させることとなり、特に自律分散型であるケース1-2に対して効果的に働く。

2元給水の検討と都市のコンパクト化、さらに土地利用誘導策の導入を踏まえ『域水指数』を用いた将来シナリオ(2050B)の総合評価では、I流域ではケース1-2、N流域では、2元給水のケース(2元)1bが望ましい。

『域水環境指数』による制約条件から検討を行ったところ、N流域では都市のコンパクト化や土地利用誘導を含め全ての対策を取る必要がある。

「地球環境指標」からの検討では、I流域では、流域対策を実施しないほうが望ましい。

以上をまとめると表7-3-2(1)の通りとなる。

表7-3-2(1) 次世代へ向けての上下水道システムの再構築への対策

	シナリオ	ケース	流域対策	膜導入	管路高機能化	土地利用誘導等
I流域	2050B	1-2	実施せず	実施	実施	実施
	節水型 0.3 ( $\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ )	自律分散型 (下水処理水 河川還流)		膜処理 浄水施設導入	管路耐震化、 耐用年数60年 化実施	コンパクト化 土地利用誘導
N流域	2050B	2元1b	実施	実施	実施	実施
	節水型 0.3 ( $\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ )	2元給水 上水:0.04 ( $\text{m}^3/\text{人}/\text{日}$ )	雨水貯留浸透施設導入	膜処理 浄水施設導入	管路耐震化、 耐用年数 60年化実施	都市コンパクト化 土地利用誘導の 実施

## (2) I 流域における各指標の評価

I 流域においては以下に示すとおり、表7-3-2(1)に示した対策等によりすべて目標値を満足するとなった。

域水環境指数 = 流域指標 + (地球環境指標 + 河川指標 + 水道指標) : +17.5 億円/年 (> 0)

地球環境指標: -27% (現状から20~40%削減)

## (3) N 流域における各指標の評価

N 流域においても、表7-3-2(1)に示した対策を実施すればすべての条件を満足することとなった。

域水環境指数 = 流域指標 + (地球環境指標 + 河川指標 + 水道指標) : +0.2 億円/年 (> 0)

地球環境指標: -39% (20~40%)

### 7-3-2 新たな制約条件からの検討

第2章で論じたように、次世代へむけた望ましい上下水道システムを評価するためには、建設や運用費用に加え環境やリスクを統合した指標による総合的な効率性評価とともに、強い持続可能性の立場に立って環境容量等による制約条件を設定し、グローバルな視点での持続可能性との整合性を検討する必要がある。

このような観点から今回の研究では、上下水道システムを含む流域の水資産の健全性を示す指標として「域水指数」を設定し、加えて「流域指標」を一つの制約条件として「域水環境指数」を設定したが、ここでは、さらにこの制約条件の考え方を流域の水資源に範囲を広げて検討した。

#### (1) 環境容量の概念の分類

自然環境に関する制約条件としての環境容量は、環境科学、環境工学における基本概念の一つであるが、これまで生態学では、環境の収容力、包容力とされ、個体数に関するロジスティックモデルでのK(最大許容数)に相当している<sup>25)</sup>。また、資源の分野では、漁獲量や森林伐採量に関する最大持続生産量などが用いられてきた。これに対して、1970年代はじめに、環境工学分野において環境に対する人間活動の制約を明らかにする概念として登場した。末石らは純自然域では還元・同化能力は0とし(環境容量)、生活圏に関しては、廃棄物のような廃棄場所が時間積分値で一方向的に減少していくことを想定して環境容量を設定した<sup>26)</sup>。Bishopらは自然、インフラ、社会システムの持つ資源供給能力と廃棄物同化能力に関して制約条件と環境の同化能力とを明確に分離、内藤<sup>27)</sup>は、第1種環境容量として、総量規制の裏づけとなる「機能を維持するために必要となるレベル以下となるような排出量」と定義し、第2種環境容量として、自然または社会生態系を含む対象に対して「系の状態を安定平衡点から不安定平衡点にまで移すような人為外力の限界値」を持って定義し、人間活動の限界を設定する根拠につながるものとした。今日では、環境工学分野においても公害解決型の時代から生物の多様性などの地球環境が問題とされる時代となっており、対象となる空間や時間も拡大し、持続可能な発展のための生態系の保全や社会経済システムの維持、世代間の衡平の確保のための人間活動の制限などが広く環境容量と呼ばれている。

## (2) エコロジカルフットプリントによる環境容量

人類の活動が地球の「環境収容力」の指標として、欧米などで注目されているのが「エコロジカル・フットプリント(EF)」である。EF指標は、1990年代初頭にカナダのプリティッシュ・コロンビア大学で開発・改良した資源消費に関する総合的な指標で、「ある特定の地域の経済活動、またはある特定の物質水準の生活を営む人々の消費活動を永続的に支えるために必要とされる生産可能な土地および水域面積の合計」とされ、食料や木材の提供、森林によるCO<sub>2</sub>の吸収などのために必要とする土地の面積の合計である<sup>28)</sup>。EF指標で示される面積と実際の面積を比較することで、環境負荷の程度や資源消費水準の持続可能性が表現される。この指標の特徴は、資源消費(環境負荷)を統合的に扱うことが可能、資源消費の純量を計測することが可能、環境収容力との定量的な比較を行うことが可能、

人の直感性に訴える：面積を用いる手法であり、一般市民にも理解されやすい。ことが挙げられており、世界的レベルで導入や検討が進められており、現在、我が国では第3次環境基本計画(2006)で環境容量を評価する指標の一つと位置づけられている。これに対しては、生態学の「環境収容力」(Carrying Capacity)という概念を人間社会に適用することは間違っている。(a)人間は動物と違って、ニーズに合わせるように、環境収容力を高めることができるし、実際にそうしている (b)一部の地域と自治体は現在も大きな悪影響を発生させることなく自らの地域の環境収容力を超える生活を続けている。との批判もあるが、容量を超えた土地利用は他の地域からの移動や将来世代への負債からなりたっているとする地域的な公平性、時間的な公平性という視点に立てば、それを評価すること自体は非常に意義のあるものと考えられる。しかしながら、その評価する地域や世代のスケールが問題としてあり、一人当たりの消費水準の評価や世界や国レベルでの比較評価を行うには非常に有効な指標であるが、この指標を地域や流域レベルの環境容量を示す指標とする場合は、困難が伴う。わが国でも、EF指標による資源消費水準の現状把握が行われ<sup>29)</sup>、2000年時点の資源消費水準を支えるためには、食料、木材の生産が可能な国内の土地等の8.5倍の面積を必要としている。ここでは各府県別の検討も行われ、大阪府では、126倍、最高は東京都で197倍に上ることが示され、一人当たり消費にともなうEFでは、全国で2.22ha/人、大阪府で2.14ha/人となっている。

今回検討モデルとしたI、N流域の環境容量をこの大阪府の原単位で算定すると、容量人口は大阪府域ではI流域1万人、N流域0.2万人となり、現在の25万人と比較すると非現実的な数字となる。このうちCO<sub>2</sub>の吸収に必要な土地(CO<sub>2</sub>吸収地)が80%を占めており、これの大幅な削減の必要性を示唆するものであり国レベルでは、ファクター10やファクター4と符合するが、地域や流域単位での対策の範囲を超えている。また、現在のEF指標には水資源問題が評価項目に入っていないことも課題である。

以上の点から今回の上下水道システムを持続可能性の観点から評価するための新たな容量として、以下に示す生活や社会活動に必要な水資源と食料生産にかかる水資源から見たものとの2つの手法で環境容量の検討を行った。

### (3) 水資源から見た流域人口の制約条件

これまで、各方面で流域の降水量や水質負荷の面から流域でまかなえる人口の限度などが種々試算されている。ここでは流域内に降った降雨のみで、流域内の水需要をまかなえる人口を水資源から見た人口容量とした。水道水供給のために取水可能な河川の流量は、降雨の変動によって変化するため、水道の渇水被害で用いた河川の流況値を用いて、10年確率の渇水時の低水流量を取水基本流量として、この流量が供給できる給水人口を人口容量とした。

#### 現状での評価

10年確率の渇水時の低水流量 $Q_n(275)$ 時は、第5章の表5-2-1(4) 表5-2-1(6)から、I流域で $0.96 \text{ m}^3/\text{S}$ 、N流域で $0.19 \text{ m}^3/\text{S}$ となっており、表7-3-2(1) に示す取水基本流量から、現状(2000)における人口容量はI流域では、図7-3-2(1)に示すとおり、一人当たり給水量 $0.4 \text{ m}^3/\text{日}$ の流域対策前で28万人となり、現状(2000)シナリオの給水人口25万人はこの容量内に収まっている。一方、N流域では、図7-3-2(2)に示すとおり、流域対策を行っても一人当たり給水量が現状の $0.4 \text{ m}^3/\text{日}$ では、水資源から見た人口容量は5万人となり、逆算すると現状シナリオの給水人口を維持するためには一人当たり給水量は80L/日にする必要がある。以上から、N流域は、I流域に比して現状でも水環境として非常に厳しい状況にある結果となった。

表7-3-2(1) 現状(2000)シナリオにおける取水基本流量の算定

(単位: 万 $\text{m}^3/\text{日}$ )

	2000					取水基本流量	
	$Q_n(275)$	取水量	下水流入	流量減	流域対策	対策前	対策後
I 流域	8.32	8.00	-5.00		2.07	11.32	8.32
N流域	1.61	2.00	-3.00		1.37	0.61	1.61

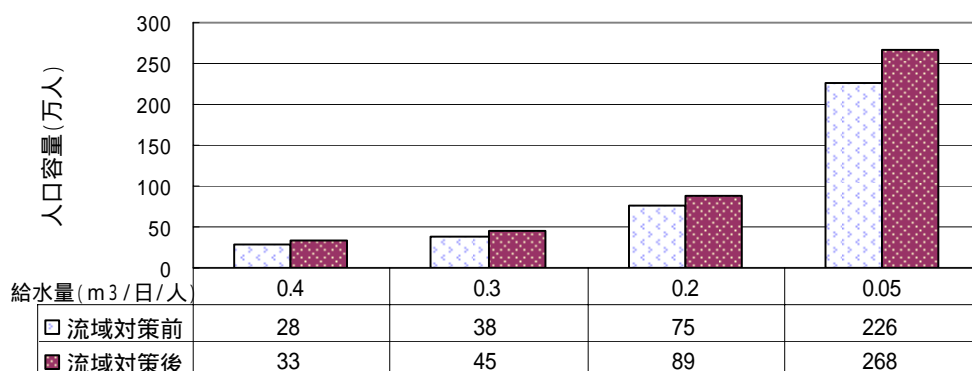


図7-3-2(1) 現状(2000)シナリオにおける I流域の水資源から見た人口容量

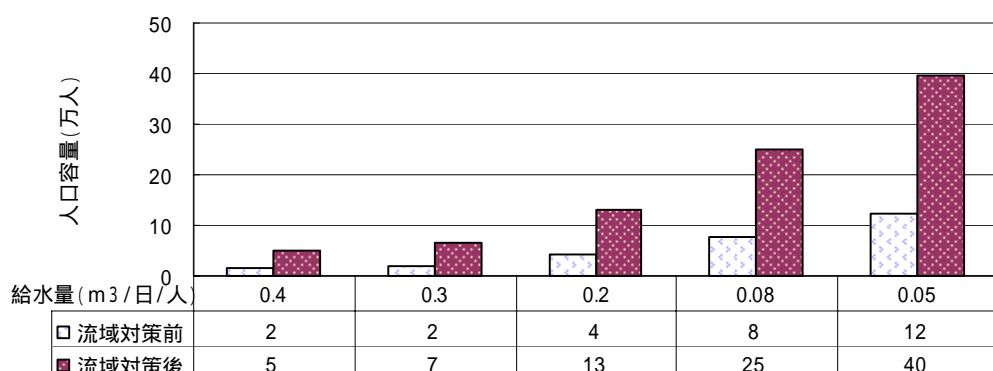


図7-3-2(2) 現状(2000)シナリオにおけるN流域の水資源から見た人口容量

#### 将来シナリオ(2050B)での評価

表7-3-2(2) に示す取水基本流量から、図7-3-2(3)に示すとおり、一人当たり給水量0.3m³/日の流域対策前の条件で、将来(2050B)シナリオにおける人口容量はI流域では23万人となり、将来の想定給水人口21万人は、この容量内に収まっている。一方、N流域では、図7-3-2(4)に示すとおり、流域対策を行っても一人当たり給水量が現状の0.4m³/日では、水資源から見た容量は2.6万人となり、将来の給水人口18万人を維持するためには一人当たり給水量は40L/日にする必要がある。

以上から、水資源という制約条件から見た場合、N流域はI流域に比して将来において現状より厳しい状況が想定され、持続可能な上下水道システム構築には、2元給水など新たなシステムへの移行の必要性が示される結果となった。

表7-3-2(2) 2050シナリオにおける取水基本流量の算定 (単位: 万m³/日)

	2000			2050		2050取水基本流量	
	Qn(275)	取水量	下水流入	流量減	流域対策	対策前	対策後
I 流域	8.32	8.00	-5.00	-4.29	1.72	7.03	8.75
N流域	1.61	2.00	-3.00	-0.68	1.12	-0.08	1.04

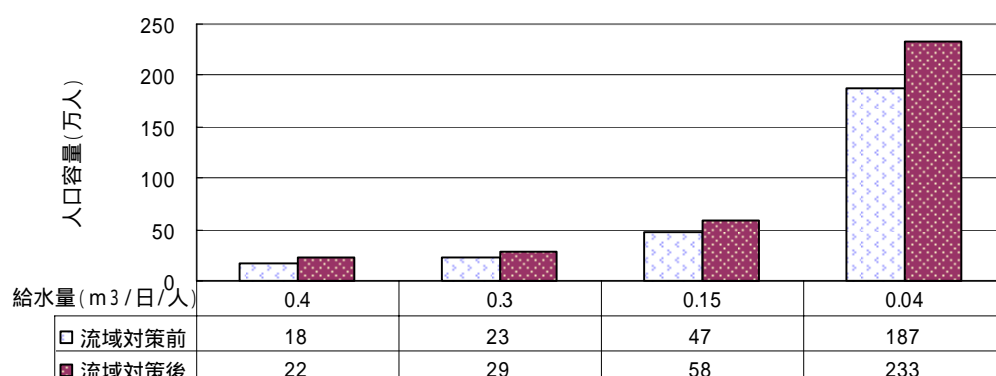


図7-3-2(3) 将来(2050B)シナリオにおけるI流域の水資源から見た人口容量

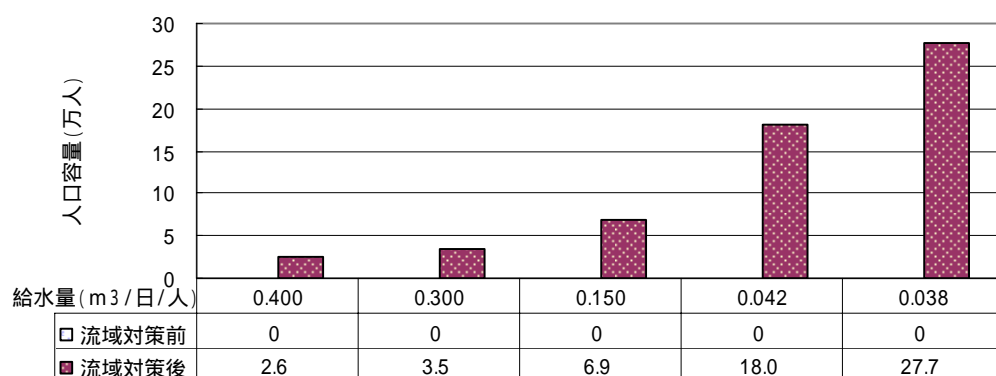


図7-3-2(4) 将来(2050B)シナリオにおけるN流域の水資源から見た人口容量

#### (4) 農業用水の確保から見た流域人口の制約条件

谷口ら<sup>30)</sup>は、江戸時代初期の石高と人口の関係を調査し、持続可能な人口容量を検討している。本研究では、水資源に関するもう一つの容量の視点として、一人当たりの米の消費量と流域内の米の生産可能量からそれに必要な水資源量を用いて人口容量を設定した。

わが国の平均的な耕地面積当たりの米の年間収穫高は500t/km<sup>2</sup>とされており、一人当たりの米の年間消費量を66kgとして、一人当たり132m<sup>2</sup>の農地を必要とするとした。また、第3章表3-1-1(8)で示した全国の農業利水量と耕地面積の関係から年間必要水量は1.48m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>となり、一人分の米を収穫するためには一人当たり年間195m<sup>3</sup>の農業用水が必要となる。農業用水は蒸発散で失われる以外は地下浸透や農業水路から河川に還流するとし、農業利水が河川の年間総流出に変化を与えないものとして、平常時流量の年間流出量や総流出量から必要な農業用水量を確保できる人数を人口容量とした。

#### 現状での評価

一人分の米を収穫するためには年間195m<sup>3</sup>の農業用水が必要となることから、表7-3-2(3)、(4)に示すように河川の平常時流出量と総流出量及びそれぞれに対応する人口容量が求まる。これによれば、

I流域ではいずれの人口容量の計算でも現状の25万人は制約条件内にあることになる。一方、N流域では、総流出量から見た最大の容量でも18.3万人と現状の25万人を下回ることとなった。

表7-3-2(3) 現状(2000)シナリオにおける I流域の農業用水から見た人口容量

		流出量(万m <sup>3</sup> /年)	人口容量(万人)
平常時流量	流域対策前	8651	44.3
	流域対策後	9408	48.2
総流出量		13308	68.1

表7-3-2(4) 現状(2000)シナリオにおけるN流域の農業用水から見た人口容量

		流出量(万m <sup>3</sup> /年)	人口容量(万人)
平常時流出量	流域対策前	1593	8.2
	流域対策後	2093	10.7
総流出量		3577	18.3

表7-3-2(5) 将来(2050B)シナリオにおける I流域の農業用水から見た人口容量

		流出量(万m <sup>3</sup> /年)	人口容量(万人)
平常時流出量	流域対策前	6737	34.5
	流域対策後	7365	37.7
総流出量		11501	58.9

表7-3-2(6) 将来(2050B)シナリオにおけるN流域の農業用水から見た人口容量

		流出量(万m <sup>3</sup> /年)	人口容量(万人)
平常時流出量	流域対策前	1239	6.3
	流域対策後	1647	8.4
総流出量		3026	15.5

#### 将来シナリオ(2050B)での評価

同様に将来(2050B)必要な農業用水から見た人口容量は、I流域では34.5～58.9万人(表7-3-2(5))となり、将来人口21万人は、この容量内に十分納まることになる。一方、N流域では、総流出量から見た最大の容量でも15.5万人(表7-3-2(6))となり、将来の人口18万人は、この容量を超過することになる。

### 7-3-3 次世代へ向けた上下水道システムの再構築のための施策

以上の検討を踏まえ今回モデルとしたI、N流域での望ましい水循環の形成と上下水道構築へ向けた方策を整理すると以下の通りとなる。

#### (1) 上下水道での対策

供給システムの変更。

I流域において下水処理水を河川へ還流し、流域外の水源に頼らない自律分散型システムへの移行を図る。

N流域において、下水処理水を活用した中水道と用水供給を水源とした上水道の2元給水システムを導入する。

下水処理水の循環利用

I流域では、下水高度処理水をポンプアップし河川に還流する。

N流域では、下水高度処理水を中水道の水源として循環利用する。

浄水処理への膜処理の導入。

I流域において、自己水の浄水処理に膜処理方式を導入する。

N流域では、上水用の浄水処理施設は設けず、用水供給の高度処理水を使用する。

管路を高機能管に更新し、耐震化と耐用年数の延長を図る。

雨水の有効利用、節水施政の推進

風呂水のトイレ用水への利用等による水道水のカスケード利用を促進する。

各戸に雨水貯留施設の導入を図る。

#### (2) 流域での雨水対策

N流域において雨水浸透施設の整備

道路舗装の透水化を図る。

中高層地区等で雨水浸透システムを導入する。

N流域で雨水貯留施設の整備

農業用ため池を掘り下げ新たな利水治水容量を確保する。

#### (3) 土地利用での対策

都市のコンパクト化

I、N流域で、インフラ等の充実した中心市街地への人口の集中を図る。

土地利用誘導

I、N流域で河川氾濫域等の宅地を農地等への土地利用転換を図る。

I、N流域で河川沿いの宅地を自然的土地利用に誘導する。

なお、農業用水の水資源からみた制約条件からはN流域においては2元給水の用水供給による上水を流域内で農業用水に再利用する等の対策が必要となる。



### 7-3-4 次世代へ向けての上下水道システム再構築への道筋

#### (1) 技術的な道筋

今回、次世代へ向けたシステムとしてI流域では下水処理水の活用による自律分散型が望ましいとの結果を得たが、この実現へ向けての最も大きな課題は、下水処理水の上水水源としての活用に不可欠な安全性の確保である。本研究の検討ケース1 - 2では、処理水を一旦河川に放流した後に取水することとし、渇水時には処理水の9割までを最大使用することとしているが、シンガポールなどの事例で見ると、まだ飲み水として十分受け入れられていないのが現状である。このため当面の対策として下水処理水の地下水涵養や農業用水としての活用を図りながら、膜処理を中心に上下水道が一体となった水処理技術の更なる向上を図っていく必要がある。

N流域では、上、中水を分離給水する2元給水が望ましい案となったが、この2元給水システムに関しては「水道システムは巨大な設備を有する施設であるので、小回りはきかず、このような対応は現実的には困難である」<sup>25)</sup>との指摘もある。確かに現時点での実現性となると困難と考えられるが、50年先という将来の視点からとらえると十分実現可能と考えられる。技術的には福岡市や東京都の一部で中水道として既に実用化されており、費用的な課題はあっても技術的な問題は少ないと考えられる。

また、新たな方策として、流域対策、膜による浄水処理、上水道管路の高機能化、2元給水、都市のコンパクト化、土地利用誘導を取り上げたが、流域対策については、大阪府域でも既に寝屋川流域では助成金や法整備の基で積極的進められており、については主に都市政策の問題でありともに技術的な問題は少ない。またについても現在のダクトイル鋳鉄管等の性能や機能は十分条件を満たしており、後は事業体の資金確保の問題である。

こうしてみると技術的な課題として残るのは膜処理技術であり、次世代へ向けた上下水道システムの構築には、この膜処理技術の向上が大きく影響することになる。

#### (2) 政策としての道筋

現在水道事業は、市町村が主体となって管理運営されており、全国で約2千の上水道事業体が存在している。水道ビジョンでも示されたように、今後の人口減少の中で、大規模な施設の更新や複雑化する水道水源の汚染に対して適切な対処をするためには、一定規模までの経営規模の拡大は不可欠であり、小規模な水道事業体を統合するなど広域化の推進が必要となる。大阪市を除く大阪府域の水道事業体を対象として給水量と給水量当たりの人件費および給水原価の関係を求めると、供給量が大きいほど人件費は減少し(図 7-3-4(1))、給水量と給水原価の関係も同様である(図 7-3-4(2))。広域化とは、本来、事業の効率化を図るために水道末端までの一体管理を目指すものであるが、現状の水道システムを構築する過程では、水源確保に緊急性を要したことから用水供給による事業の展開が進められ、多くの事業体で現在まで用水供給と末端給水が並立する状況が続いてきた。また、効率化の点から複数の行政区域が単位となったことから必ずしも流域単位としての広域化には結びついていないのが現状である。一方、今回のモデル流域では、流域を単位とした次世代へ向けての上下水道システムの在り方を検討し、将来的には自律分散型や用水供給を活用した2元給水が望ましいとの結果を得た。

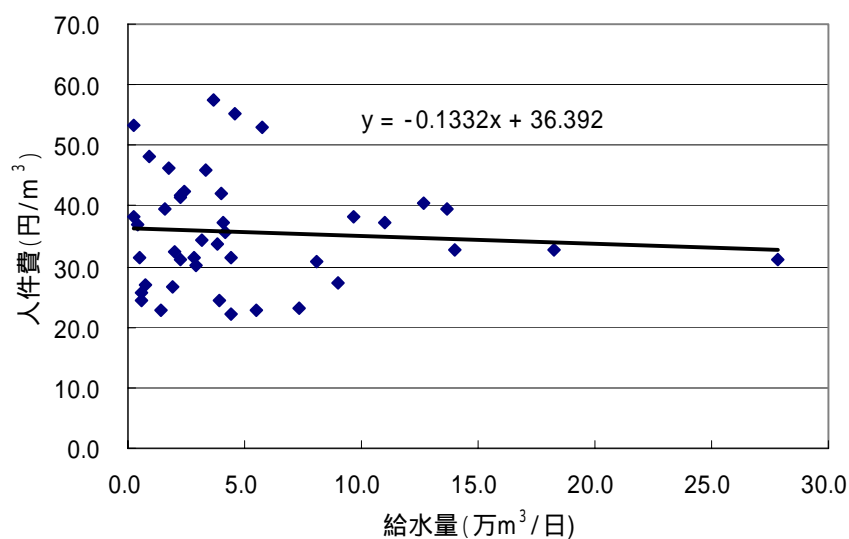


図 7-3-4(1) 水道事業体の給水量と人件費の関係

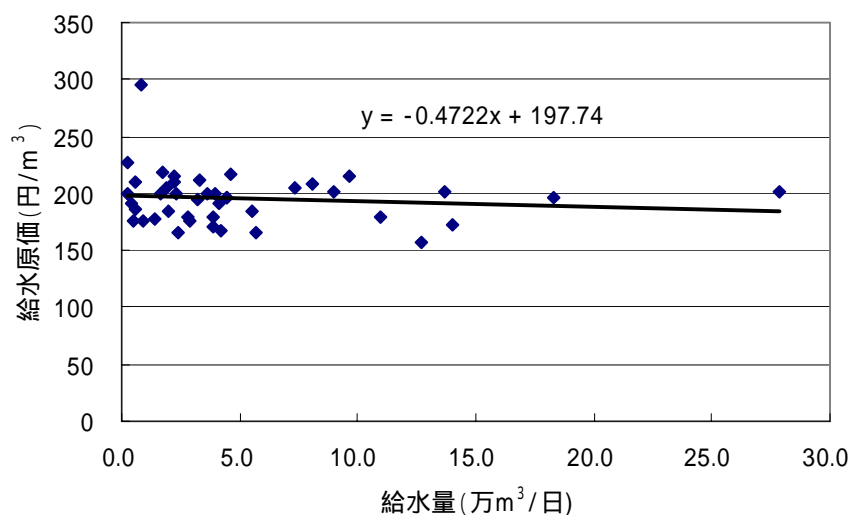


図 7-3-4(2) 水道事業体の給水量と給水原価の関係

今後このような流域内の給水システムを自律分散や2元給水化にシフトさせていくためには、非効率性と経営のアンバランスを生む構造を解消し、一つの事業者が末端給水までを一体的に管理経営するシステムへの移行が不可欠である。また、下水処理水を水道水源としての有効活用するためには、上下水道事業の統合も必要である。さらに、府域のみならず、淀川流域、大和川流域といった大流域レベルでの連携も必要と考える。また、府域には、自己水源を持たないか極端に不足する市町村も多くあり、淀川を水源とする給水を必要とすることから、現在の用水供給システムは広域連携の水供給システムとして将来的にも継続する必要があるが、このような個別の事業者はできる限り流

域単位に再編成していくことも必要である。

今回モデルとして設定したI、N流域においても、現在供給されている用水供給管は広域連絡管として将来的にも維持し、広域的な効率性や安全性、安定性の分析の基で、通常時はエネルギー効率が自己水源からの取水と膜処理給水を主体に行い、渇水時や地震には、広域連絡管を用いて他流域からの給水で対処するシステムが望ましいと考えられる。しかし広域化には、効率化の一方で地域との緊密性に欠け、きめ細かな対応が出来なくなるとの問題も提示されている。今回の将来シナリオで示された節水や雨水活用など地域の水活用を推進するためにはコミュニティレベルでの役割も大きくなることから、地域に密着した組織の構築も必要となる。さらに、土地利用誘導のためには都市行政との連携も必要であり、流域単位のまちづくりや水循環に関する総合協議会を立ち上げる必要もある。

上下水道組織の将来の姿は、府域全体の上下水道システムを管理運営する組織の基に、地域に在住する住民による、上下水道関係のNPO組織を立ち上げ、それらの組織と一体となって運営していくことが望ましいと考える。その場合、まちづくりや防災関係ボランティア組織との連携も必要である。そのための2050年へ向けての道筋として、流域単位での水道事業体の統合、用水供給事業と末端給水事業との統合、地域コミュニティ組織の立ち上げ育成、流域統合管理組織の設立を順次進めて行く必要がある。それらを進める前提となるのは、広域的な上下水道の将来ビジョンであり、これを策定するためには次世代へ向けた望ましい上下水道システムを評価する指標が必要となる。

今回「流域水資産健全度指数」という指標を構築し、次世代へ向けてより望ましい上下水道システムを評価し、さらに流域の許容量からの制約要件を設定し、I、N両流域をモデル化した上で評価を試みたが、今後他流域についても本研究で提示した指標で各流域単位の上下水道システムの評価を行い、個々の流域の特性を反映しながら広域全体としての望ましい上下水道システムを構築して行く必要があると考える。

## 7-4 結語

本章では、次世代へ向けての望ましい上下水道システムを実現するための目標値を設定し、それを達成するための各種の方策を検討した。その結果この目標を達成するためにはI流域では、膜処理の導入や配水管路の耐震化耐用年数の延長に加え都市のコンパクト化や土地利用誘導が必要であり、将来の上下水道システムは下水処理水を活用した自律分散型が望ましいとの結論を得た。一方N流域については、I流域の対策に加え流域対策が必要とされ、上下水道システムは上水に用水供給を用い、中水に下水処理水を用いる2元給水が望ましいとの結論を得た。加えて流域の水資源容量からの制約条件を検討し、I流域は現況、将来とも人口は容量内であるが、N流域はともに容量を超過するとの結果を得た。これらの検討を基に、次世代へ向けての望ましい上下水道システムのあり方とそれを実現するための道筋を考察した。

## 第7章 参考文献

- 1) 環境省：第3次環境基本計画,2006.
- 2) 環境省：目指すべき2050年の日本と世界の環境像,2007.
- 3) 2050 日本低炭素社会プロジェクトチーム(国立環境研究所・京都大学・立命館大学・東京工業大学・みずほ情報総研)：2050 日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス 70%削減可能性検討,2007.
- 4) 土木学会平成 13 年度会長提言特別委員会：人口減少下の社会資本整備のあり方,2002.
- 5) 和田安彦,三浦浩之,多田律夫,尾崎平：節水型都市構築のための都市内水資源有効利用の研究,土木学会論文集, No.622/ -11, p.59-71, 1999.
- 6) 寝屋川流域協議会：寝屋川流域における雨水流出抑制施設技術基準(案), p.28, 2006.
- 7) 山本晃一, 斉藤松美：浸透型流出抑制施設の浸透能力把握手法に関する調査報告書(土木研究所資料第2126号), p.143-147, 1984.
- 8) 藤田光一, 伊藤弘之, 小路剛志, 安間智之：GISを活用したシミュレーションモデルによる流域圏再生シナリオの検討, 土木技術資料 48-1, p.34-39, 2006.
- 9) 下水道新技術推進機構：広域的な市街地等汚濁負荷削減手法等に関する調査(茨城県, 千葉県, 長野県), 2000.
- 10) 大阪府富田林土木事務所：狭山池ダム事業誌, p.5.3, 2004.
- 11) 雨水貯留浸透技術協会：雨水利用ハンドブック, 山海堂, P.177, 1998.
- 12) 浄水膜編集委員会編：浄水膜, 技報堂出版, 2003.
- 13) 棕橋俊文, 柴田一栄, 戸松裕貴, 佐々木素喜：浄水膜処理における活性炭を用いた前処理方法に関する研究, 第9回北海道大学衛生工学シンポジウム論文集.VOL 9, p.189-193, 2001.
- 14) 水道技術研究センター：水道用膜ろ過技術の新しい展開, p.209-213, 2002.
- 15) 坂元陽介, 小林幸夫, 梅森文寿：NF 膜を用いた高度浄水システムの開発( ), 第59回全国水道研究発表会, P.200-201, 2008.
- 16) 田中宏樹, 大野浩一, 植木誠, 小林琢也, 青井健太郎, 松井佳彦, 伊藤雅喜, 吉沢健一, 三木一弥, 岡崎素弘：ナノ濾過膜による浄水処理についての研究( ), 第59回全国水道研究発表会講演集, P.208-209, 2008.
- 17) 水道技術センター：環境影響低減化技術開発研究ガイドライン集, 2005.
- 18) 日本水道協会：省エネルギー水道システムの設計に関する調査報告書, p.9, 1983.
- 19) 日本ダグタイル協会：配水管の管種選定について, p.14, 2005.
- 20) 丹保憲仁：都市・地域水代謝システムの構造と容量, 水道協会誌, VOL 49 7, p.16-34, 1976.

- 21) 中西弘: 21世紀の課題と提言, 持続可能な地球社会の形成及び水道と下水道のあり方, 土木学会論文集 No.692/ -21, p.1-11, 2001.
- 22) 原沢英夫, 脇岡靖明, 一ノ瀬俊明: コンパクト・シティに関する総合評価に関する研究, 環境省地球環境研究データベース(H-8), 2003.
- 23) 国土交通省: 国土審議会持続可能な国土の創造小委員会報告, 2005.
- 24) 日本学術会議: 生活の質を大切にすると大都市政策へのパラダイム転換について, 2005.
- 25) 岡敏弘: 環境政策論, p.229-230, 岩波書店, 1999.
- 26) 末石富太郎: 環境計画論, p.155-156, 森北出版, 1993.
- 27) 内藤正明: 環境容量論, 環境情報科学 16-3, p.49-54, 1987.
- 28) M.Wackernagel W.E.Rees(和田喜彦監訳): エコロジカル・フットプリント, 合同出版, 2004.
- 29) 国土交通省: 自然界の物質循環への負荷の少ない社会を目指した資源消費水準のあり方検討調査報告書, 2003.
- 30) 谷口守, 阿部宏史, 足立圭子: 地域レベルでの環境容量の試算と環境負荷要素分解, 土木計画研究論文集, Vol.19.NO.2.p.255-263, 2002.

## 第8章 結論

### 8-1 本研究のまとめ

本研究は、次世代へ向けた新たな上下水道システムを構築していくために必要な指標として、流域の水システムの健全性を示す「流域水資産健全度指数」と流域の許容量から評価する「流域水環境健全度指数」を構築し、2000年の現況と2050年における自然社会環境条件の想定を基に、状況の異なる2つのモデル流域における水循環を含む次世代へ向けた上下水道システムのあり方を評価したものである。

第1章では、まず、本研究の背景を明確にするとともに次世代へ向けた上下水道システムの評価指標を選定するために地球環境や水循環を含め上下水道に関する今後の課題を整理した。

第2章では、次世代へ向けた人類の共通の目標となっている「持続可能な発展」に関する考察を行うとともに、このような社会を支える次世代へ向けた上下水道システムを評価するために必要となる指標の選定を行った。地球環境の保全の視点から、CO<sub>2</sub>とエネルギーの2項目、健全な水循環の形成の視点から、河川の流量や水質、流域の自然度などの7項目、安全で安定した水道水の供給の視点から渇水や事故断水被害や発がんリスクなどの6項目、さらにライフサイクルコストの低減という視点からLCC指標という4種類の分野にわたり、合計16項目の指標を選定した。次に、それらを統合して総合評価するための指標として、全ての項目を金銭で評価することにより統合する「流域水資産健全度指数」を設定した。

第3章では、第2章で選定した各指標について、渇水被害度評価のための新たな算定手法の構築を含め、平常時流量指標、自然緑地指標、LCC指標など各項目を全て金銭評価する手法を構築した。

第4章では、近時、水質対策が大きな課題となっている大和川の支川で、共に水道の水源として利用され、人口密度や土地利用など流域状況が大きく異なる石川、西除川を選定し、モデル河川I及びN流域を設定した。また、このI、N流域での上下水道システムについて、現状ケース(0)、現状システムを維持するケース(1)、下水処理水を河川に還流するケース(1-1)、下水処理水を河川に還流し、水源を全て流域内河川に依存する自律分散型ケース(1-2)、逆に全ての水源を流域外に求めるケース(2)、ケース1と2の折衷案のケース(3)のそれぞれ6ケースを設定した。

第5章では、I、Nモデル流域を対象として、各6ケースについて今回構築した評価手法を用いて総合評価を行った。その結果、両河川とも今後の下水道整備の進捗により、河川の水質は改善されるものの河川の平常時の流量が減少することから、現状のシステムを継続するケース1では、大幅に総合評価値が悪化することになり、その対応策としてI流域では自己水を一部用水供給に転換するケース3が、N流域では、現在の水供給システムで下水処理水を河川へ還流するケース1-1が最も高い評価となるという結果になった。しかし、I流域に関しては、N流域に比して自己水源となる河川流量が比較的豊富なため自律分散型のケース1-2とケース3との差はほとんどないという結論を得た。

第6章では、将来における上下水道システムの評価を行うため、2050年における流域の自然社

会環境条件として温暖化による気温の2℃上昇や人口の20～30%の減少を想定し、一人当たりの水使用量を現状維持するシナリオ A と3割節減するシナリオ B を設定して、5章で取り上げた現況(2000)シナリオと同じケースについて総合評価を実施した。その結果I、N流域の2050A、B どちらのシナリオもケース1-1が最も高い評価となったが、I流域についてはケース1-2との差はわずかであった。また地球温暖化は、降雨の蒸発散量の増大という形で、河川指標や渇水被害指標に大きな影響を与え、特にシナリオ A では総合指標値が大きく悪化することから節水型シナリオ B をとる必要があることなどが示された。

第7章では、望ましい流域のあり方と上下水道システムの将来像を設定して、これを実現するための目標とすべき評価指標値の検討を行い、(1)流域指標を流域の許容量として、河川指標、水道指標、地球環境指標とこの流域指標を合計したものを「流域水環境健全度指数」と定義し、この値をプラスにすること、(2)地球環境指標の現状からの20～40%削減、(3)下水処理水の100%活用を目標指標値とした。

次にI及びN流域で、現況、将来のそれぞれのケースについて、これらの目標値を基に、次世代へ向けた上下水道の条件を満たすための方策の検討を行い、雨水浸透などの流域対策は渇水指標や河川流量指標を、浄水での膜処理の導入は水道の非飲用指標を、また管路の耐用年数の延長は地球環境とLCC指標を大きく向上させる結果を得た。これらの対策実施後の「域水指数」による総合評価では、将来(2050B)シナリオにおいては両流域とも自律分散型であるケース1-2が最も評価値が高いという結果となった。

また、これまでの1元給水に加えて、2元給水方式の導入効果の検討では、N流域で大きな効果が期待できるという結果を得た。しかし、これらの対策によって各指標値は大幅に向上するものの、まだI流域では(2)の条件、N流域は(1)の条件を満たさないことから、さらに新たな対策として今後の持続可能な都市づくりのテーマとされている、コンパクトシティや土地利用誘導政策が水循環を含む上下水道システムに及ぼす効果の検討を行った。その結果、都市のコンパクト化や土地利用誘導は、I、N両流域で域水環境指数を向上させることになり、(1)(2)の条件も達成できることとなった。各検討ケースの評価順位に関しては、I流域では最も高い評価ケースは変わらずケース1-2であったが、N流域では2元給水のケース1bとなった。

さらに水資源から見た流域の人口容量からの検討も行いI流域では今後の人口は容量内に収まるもののN流域では困難との結果を得た。

以上の検討も基に、将来のI、N流域での望ましい将来像は、都市のコンパクト化や土地利用誘導、節水等による一人当たり水使用量の節減を進めることを前提に、浄水施設では、膜処理の導入と管路の耐震化を図り、I流域では、給排水システムとして下水処理水を活用した自律分散型のケース1-2、N流域では、雨水貯留浸透などの流域対策の促進とともに、上水道は用水供給により飲用や炊事用水を供給し、その他トイレ用水等の雑用水は中水道として下水処理水を供給する2元給水方式が望ましいとの結果を得た。

第1章で詳述したように、これまで持続可能性を評価する手法は多方面で研究されてきた。これらの大きな流れの方向の一つは環境効率性を求めるものであり、もう一つは環境容量で規定しようとす

るものであるが、これらを統合した評価は少ない。

今回、次世代へ向けての上下水道システムを評価するために構築した「流域水資産健全度指数」という指標は、流域における水システムの健全性を示す一種の総合的な環境効率性指標である。さらに持続可能性の視点から、そこに含まれる流域指標を制限条件(流域の許容量)として、地球環境への影響や河川や水道に関わるリスクをその容量内に抑えることを目標に「流域水環境健全度指数」を設定し、これらの両面からの評価を試みたものである。さらに流域の水資源から見た流域人口容量からの検討も加え、環境効率性と環境容量を統合した評価を試みたものである。

このように将来の上下水道システムの総合評価(総合的な費用対効果分析)に、具体的な許容量の数値基準からの評価を加えることにより、今後の持続可能な社会を支える次世代へ向けての上下水道システム構築のための政策評価が可能となると考えている。

これまでの上下水道システムの評価に関しては、広域化や2元給水、浄水処理方法など個々の分野ごとになされており、統合して評価された例は少なく、また個々の検討においても費用面と環境面が個別に行われる例が多い。また、これまでの検討では2元給水や自律分散型の導入は、コスト面で課題が大きいとされてきた。この理由としてこれまでの検討が現在を視点に置き、新たな施設のみを追加施設として費用評価が行われてきたことが挙げられる。本研究ではバックキャストिंगの方式をとり、視点を将来に設定しコスト全てをライフサイクルコストとして長期で捉え、現在ある施設も新規施設と同様に扱ったことと、環境や被害リスクを総合して評価したことが、これまでの結果と異なることになったと考えられる。第1章のこれまでの研究で取り上げた多田らの研究は、効率性指標による評価であるが、これによれば雨水利用や処理水再利用による都市内水資源利用が最も高い評価値となったとしており、流域条件は異なるが今回の総合評価はこれと符合するものである。また、本研究で得られた結論では、次世代へ向けての上下水道の構築には、下水処理水の循環利用や雨水貯留・浸透施設など流域の水循環系としての対策に止まらず、都市のコンパクト化や土地利用誘導など将来の都市づくりの視点での対応を必要とする。これらはまさに質の多段階利用や国土の適切な分割・運営であり、第7章の7-2-1新たな方策メニューと検討フローの冒頭で記した土木学会特別委員会報告と整合するものである。



## 8 - 2 今後の課題

次世代へ向けての上下水道システムの構築にあたっては、将来の水資源危機を背景に下水処理水の飲用利用に関する水質問題が大きな課題と考えられる。本研究では浄水水質の発がんやクリプトスポリジウム被害の評価に関してはDALYs指標を用いて行った。確率的生命価値をベースとするこの評価は、あらゆる健康被害に対して統合的な評価が可能で、新たな規制や対策を評価するためのリスク便益検討を行う上で非常に有効な手段であるが、今回の上下水道システムの評価に関しては最大でも0.2億円程度、LCC指標の1%弱の影響しか与えなかった。クリプトスポリジウムに関しては、水道水から検出された場合には給水停止を行うこととなっており、健康被害だけでは評価できない被害や費用も考えられることから、今回用いたDALYsの原単位を含め今後さらなる検討が必要と考えている。また、非飲用費用指標についても今回は直接支出する費用のみの評価にとどめ、ペットボトルの製造や運搬での石油資源やエネルギーの消費は加味していないが、水道水の直接飲用を地球環境問題から促す意味合いからも今後評価に加える必要があると考えている。

また、今回は上水道システムを中心に評価しており、分散型下水道システムの導入など下水道システムそのものの評価は織り込んでいない。第1章の下水道の課題で示したように今後の処理方式として膜分離活性汚泥法の導入は不可欠であり、下水管路の延命化も課題となることから、今後このような点も考慮する必要があると考えている。

次世代へ向けた上下水道システム構築へ向けた評価手法の確立へ向けて、他の流域での検討の追加とともに、以上の浄水水質のリスク評価と下水道システムを含む総合的な評価は今後の課題と考えている。

## 謝 辞

本論文は、大阪府庁在職中に始めた研究を京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻後期博士課程において取りまとめたものです。伊藤禎彦教授には指導教官として本論文をまとめる機会を与えていただき、まだ学術論文として形をなさない段階から懇切丁寧なご指導いただき心から御礼申し上げます。

私は、大学院時代に河川災害部門の研究に携わった縁から、当時都市水害が深刻化していた大阪府の土木部に入り、最初は大東水害訴訟を担当したのを皮切りに、府内の河川計画の策定、安威川ダム事業、石川河川環境整備事業、狭山池ダム事業と常にその時々で注目された事業や重点課題に取り組む機会を与えられてきました。水道部への移動後も阪神淡路大震災を契機とする水道地震対策指針や大規模更新へ向けての中長期整備計画の策定、村野や庭窪浄水場の高度処理の稼働、水道料金改定や水需要計画の見直しなど、最先端の技術や重要課題に関与することができました。

この間、大学院時代の恩師である芦田和男名誉教授からは、機会あるごとに論文執筆を薦められ私としても常に問題意識を持って水問題に関する行政経験を踏まえた研究論文をまとめたいと考えていましたが、大阪府庁時代は幸か不幸か常に行政の表舞台に立たせていただき業務に追われてきたことから実現できずに時を重ねてきました。

幸い大阪府庁を退職する最終年になって伊藤禎彦教授のご尽力により後期博士課程に入学させていただけることになり、現在の職場である（株）クボタでの2年間を含めて3年間にわたる先生のご指導の下でこのたび博士論文をまとめることができました。

伊藤教授にはこの3年間ほぼ月1回開かれたゼミ等でのご助言を含め、きめ細やかなご指導をいただき、また越後准教授と大河内助教には参考文献の提供や研究活動へのご助力、論文をまとめるに際して多大なご助言ご指導をいただいたことに深く感謝申し上げます。河合秘書にも色々とお手数をおかけしたことをお詫びし感謝申し上げます。研究室の留学生はじめ学生諸君には遊びから研究まで常に親しく付き合っていていただき、お陰様で若いエネルギーが吸収でき楽しく充実した学生生活を送らせていただくことができました。本当にありがとうございました。

また、大阪府水道部をはじめ都市整備部、健康福祉部、環境農林水産部の関係課の皆様には、種々の資料提供にご協力いただき厚く御礼申し上げます。

（株）クボタの宇治事業部長をはじめ鉄管事業部の皆様方にも社会人博士課程での勉学にご理解いただき多大のご支援をいただいたことを深く感謝申し上げます。

多くの皆様方のご協力によりまとめることができた今回の研究成果を今後さらに発展させるとともに、社会への還元を目指して研究や啓発活動を継続していきたいと考えておりますので、引き続きご指導ご助力よろしくお願い申し上げます。

## あとがき

現在深刻化しつつある地球環境問題は、20世紀の大量生産、大量消費型の社会経済によってもたらされたことは疑う余地はない。これに対して現在の工業社会では技術的に環境効率性を求めても、エントロピー増大則から理論的に持続可能な社会の形成は不可能であり、農耕を主体とした社会へ回帰すべきとの主張もある。しかしながら、エントロピー増大則は事実であるとしても、また地球上の生命活動を支える太陽が後50億年で消滅するとしてもその時間的スケールが問題であり、人類の生存スケールからすれば工業化のもとで人類の英知が生み出した技術を全て否定することは出来ず、人類の持続的な発展のためには今後とも製造技術やシステムの環境効率性の追求は不可欠である。日本の国土では、再生可能なエネルギーだけで生きられる人口は4000～4500万人が限度といわれており、2050年の一億人でも、その半分は自然依存生活では過剰となる。21世紀型の持続可能な社会とは、時間の向きを逆転させるのではなく、環境の容量というものを前提としながら進む速度や方向を調整し、将来にわたって環境と調和しながら健康で文化的な生活機能を確保し発展させていくことが必要である。

わが国で開催された先の洞爺湖サミットでは、地球温暖化対策として2050年までに温暖化ガス排出量を現在の50%削減することが主要国の共通目標として確認はされたものの、残念ながら具体的な対策や数値目標は今後の課題に残された。現代文明を支える石油、天然ガス、石炭などの化石資源は、太陽エネルギーによる光合成で形成された炭素が化石として地下に眠り、数億年という長い歳月をかけて形成されたものである。特に石油は、地球温暖化による海底の無酸素状態という地球上における生命の悲劇の産物として作られたものであり、これを人類が掘り出すことにより再び過去の悲劇を引き起こし、人類を含む生命の破滅へ突き進むことだけは避けねばならない。

土木学会特別委員会の「人口減少下の社会資本整備のあり方」で示された「わが国は世界に先んじて、急激な人口増加後に引き続く長期的な人口減少期を迎えようとしており、その中で活力を維持しながら安全で自然と共生しうる社会づくりに取り組むことになる。これらは人類未踏の、また人類共通の挑戦であり、その成功が人類の生存・発展に貢献する」ことは間違いないと考えられる。

将来にわたって健全な社会生活を支えるために不可欠な上下水道事業は、わが国では今、拡張の時代から維持管理や施設更新の時代に入り、新たな指標の基でどのような方向へ進むか大きな岐路に立たされている。世界の水危機を含む地球環境問題が深刻化する中で、世界のトップランナーとして、わが国の上下水道関係者に託された使命は非常に大きいと言わねばならない。

本研究は、こうした観点から上下水道事業は地球環境や流域の水循環とは切り離せないとして、安定性や安全性など水道として求められる機能を含む総合的な評価指標を構築し、人類の共通理念である持続可能性の視点からの評価も加えて、今後の望ましい上下水道システムの方向性を検討したものである。

本研究が、持続可能な社会を支える次世代へ向けての上下水道の再構築への一助となれば幸いである。